

Matematik og krig

Høyrup, Jens

Published in:
Teknologi og historie

Publication date:
1992

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Høyrup, J. (1992). Matematik og krig. I J. Høyrup, M. Niss, I. Thiersen, & H. Hedal (red.), *Teknologi og historie* (s. s. 49-96). Roskilde Universitet. Tekster fra IMFUFA Nr. 228 <http://milne.ruc.dk/ImfufaTekster/>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact rucforsk@kb.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

TEKST NR 228

1992

Teknologi og historie

Fire artikler af

Mogens Niss

Jens Høyrup

Ib Thiersen

Hans Hedal

TEKSTER fra

IMFUFA

ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER

**INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER**

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postboks 260,
4000 Roskilde

Teknologi og historie

Fire artikler af

Mogens Niss, Jens Høyrup, Ib Thiersen, Hans Hedal

IMFUFA tekst nr. 228/92

241 sider

ISSN 0106-6242

Abstract

Denne tekst er en antologi, som er et resultat af et mangeårigt samarbejde mellem medarbejdere ved flere af RUC's institutter vedrørende samspillet mellem naturvidenskab, teknologi og historie. Teksten indeholder følgende artikler *Noget om naturvidenskab, teknologi og samfund i den naturvidenskabelige revolutions periode* af Mogens Niss, *Matematik og krig* af Jens Høyrup, *Det mekaniske verdensbilledes kultur*, af Ib Thiersen, samt *Halvlederteknologiens innovationshistorie* af Hans Hedal.

INDHOLD

Indledning	7
Noget om naturvidenskab, teknologi og samfund i den naturvidenskabelige revolutions periode (<i>Mogens Niss</i>)	13
Matematik og krig (<i>Jens Høyrup</i>)	49
Det mekaniske verdensbilledes kultur (<i>Ib Thiersen</i>)	97
Halvlederteknologiens innovationshistorie (<i>Hans Hedal</i>) ..	147

INDLEDNING

Med denne antologi realiserer forfattergruppen dele af et langt mere omfattende projekt.

Det oprindelige projekt var intentionen om at skabe en forsknings-oversigt over forskning i sammenhængene mellem teknologisk udvikling og kulturel forståelse. Dvs. en oversigt der strakte sig periodemæssigt fra o. 1600 frem til idag, med perspektivet anlagt ud fra vores kulturelle samtidighed.

Ideen om denne antologi voksede som led i en seminarække afholdt mellem Institut II, Institut for fysik og matematik og Institut V, Institut for historie og samtidsforhold. Seminarækkens indhold var de historisk betingede sammenhænge mellem samfund, kultur og teknologi fra 1600 frem til idag.

Seminarrækken varede i tre år, fra 1984 til 1987. Dens sigte var stedse både den almene og den konkrete uddybning af sammenhængenes indre struktur. Da seminarrækken, foreløbigt, stoppede sin virksomhed i efteråret 1987, var det da også med et specifikt begreb om sammenhængene mellem den teknologiske og kulturelle udvikling.

Det almene begreb var en antagelse om en række sammenhænge mellem samfundsmæssig og teknologisk udvikling i den kulturelle for-

ståelse, der markant skiftede betydning i takt med den historiske udvikling.

Grundlæggende nåede seminarrækken frem til en begrebsmæssig periodisering der omfattede tre faser:

Perioden 1600—1750. Dette var den naturvidenskabelige revolutions gennembrud og oplysningens kulturelle udbredelse. Men også i en særlig kontekst. På den ene side eksisterede støt voksende naturvidenskabelig erkendelse, først og fremmest funderet i akademierne, i mindre omfang også på universiteterne. Og på den anden side en ekspanderende kommerciel økonomi, der bragte de ledende vesteuropæiske samfund frem til den industrielle revolutions forbedringer.

Men mellem den samfundsmæssige, dvs. økonomiske og sociale udvikling og den naturvidenskabeligt bredt anlagte kulturelle forståelse, eksisterede så godt som ingen sammenhæng. Mellen naturvidenskab og teknik var ingen tråde endnu bundet. Den teknik, og sporadiske teknologi, der fandtes, var i overvejende grad erfaringsbaseret i håndværkets produktion. Al teknisk nyskabelse fandt sted indenfor produktionens egen erfaringsbaserede rytme, eller på grundlag af krav fra den videre kommercielle ekspansion, på dennes betingelser. Naturvidenskab og teknik befrugtede kun i ringe omfang hinanden.

Den kulturelle udvikling, først og fremmest oplysningens kultur, fungerede som en art brobygger mellem de to kulturer, naturvidenskabens og produktionens. Og dette alene gennem den insisterende hævde af den naturvidenskabelige erkendelses egenart, den induktiv-eksperimentelle metode, som den eneste vej frem til viden der bragte nytte, velstand og velfærd.

Der var således tale om en forberedelsens kultur.

Hele denne løse sammenhæng begynder imidlertid at forandre sig radikalt i den næste fase,

Perioden 1750—1900. Dette er perioden med hastig accelererende

industrialisering. Perioden indeholder to industrielle og to teknologiske revolutioner. Dels den industrielle revolutions gennembrud i England omkring 1780 og dels revolutioneringen af sværindustrien i den store verdenskrises kølvand, 1876—1896. Og dels de to teknologiske revolutioner, dampmaskinens teknik og teknologi omkring 1780—1840, og dels maskin-, kemi- og elektroindustriens teknologiske gennembrud i 1880'erne.

Dette var en udvikling der alene var muliggjort gennem den radikale forandring i sammenhængene mellem naturvidenskab og teknologi på den ene side, og mellem teknologi og kulturel forståelse på den anden side.

Naturvidenskaben blev i større og større omfang en erkendelse der blev omsat til teknologisk viden. Udviklingen indenfor maskin-, kemi- og elektroindustrien i det nittende århundredes sidste halvdel var det klare vidnesbyrd om forandringens styrke.

Men stadigvæk en udvikling der stod ved sin begyndelse. Omend forskningslaboratorier, tilknyttet de enkelte industrielle virksomheder, havde holdt deres indtog, så var det dog sporadisk—og undtagelsen. Men båndene mellem naturvidenskab og teknologi var knyttet, omend den hyppigst formidlede kontakt var gennem enten universiteterne eller de nyligt oprettede polytekniske læreanstalter.

Samtidig forandrede oplysningens bredt anlagt kultur sig til positivismens langt snævrere videnskabs-orienterede kultur. Sammenhængene mellem naturvidenskabelig erkendelse og kulturel forståelse begyndte at blive entydig, og positivismens krav på såvel enhedsvidenskab som -kultur begyndte at trække sine markante spor.

Ved det nittende århundredes slutning og det tyvendes begyndelse var en udvikling således i gang, der så ud til at indeholde alle den naturvidenskabelige revolutions økonomiske, sociale og kulturelle forhåbninger. Men som samtidig endnu ikke havde udfoldet sine egne indre dynamikker og modsætninger.

Disse blev markant tydelige i den tredje fase,

Perioden 1900—2000. Dette har fremfor alt været den tredje industrielle revolutions indvarsling sammen med den tredje teknologiske revolution. Dvs. perioden med accelererende teknologisk udvikling.

Men også i en særlig sammenhæng hvor den teknologiske udvikling mere og mere er kommet til at bestemme både over den sociale forandring og over den naturvidenskabelige udvikling. Sammensmeltningen mellem teknologi og naturvidenskab har således nået et sådant omfang, at den teknologiske udvikling begynder at sætte rammerne for den samfundsmæssige udviklings indre struktur.

Og med en tilsvarende skærpelse i den kulturelle forståelses indre dynamik. Hvor tidligere positivismen havde indoptaget naturvidenskabens erkendelse som sin særlige kulturelle forståelse, så kom de store metode-sammenstød i 1950'erne og 1960'erne til at betyde positivismens delvise tilbagetog—samtidig med at den fremtrådte langt mere markant form af systemteori, spilteori, videnssociologi og cognitive science. Hvor den teknologiske udvikling over det tyvende århundredes midte begyndte at dominere over naturvidenskabens, på samme måde begyndte den teknologisk orienteret systemteori at bestemme over den kulturelle forståelses indhold.

Data-baserede videnssystemer i det tyvende århundredes slutning er varslet for fremtiden—og højdepunktet i sammenfatningen af de forgangne perioder.

Dette var seminarækkens almene begreb og dens bredt anlagte periodisering. Indenfor dette begreb søgte seminarrækken den konkrete analyse i punktvis nedslag. Disse omfattede analyser og fremlæggelser af renæssancens forhold til naturvidenskab; den naturvidenskabelige revolutions kultur i det syttende århundrede, og dens indre sammenhæng;

forholdet mellem matematikudvikling og krig; naturvidenskab og teknologi i romantikkens opgør med oplysningskulturen; sammenhængene mellem stålindustri og teknologi i det nittende århundredes slutning; samt elektronikindustriens eksplosive gennembrud fra 1960'ernes begyndelse.

Intentionen med denne antologi var en gentagelse af seminarrækkens forløb. Dels en dybtgående beskrivelse af den bredt anlagte ramme-forståelse og dels en række detaljerede og konkrete analyser.

Denne intention har det ikke været muligt at gennemføre.

En hel række grunde kan selvsagt angives som årsagerne. Det mest enkle er dog fremhævelsen af den ligeså enkle konstatering at tidsnød i sammenhæng med andre opgaver gjorde, at projektet aldrig kom rigtig til syne i sin planlagte form.

Men på vejen frem blev fire artikler imidlertid skrevet færdige. Som forfattergruppe til disse fire artikler havde vi således valget mellem at anvende dem til andre formål, eller alligevel at udgive dem samlet.

Vi har altså valgt, til trods for det oprindelige projekts delvise kulsejling, at udgive dem samlet. Dels mener vi at de stadigvæk udfylder en intention og funktion samlet, og dels håber vi også at dele af den oprindelige intention bliver synlig bag om de forskellige artikler.

Mogens Niss' artikel, "Noget om naturvidenskab, teknologi og samfund i den naturvidenskabelige revolutions periode", analyserer matematikkens rolle i brudperioden fra renæssancen frem til fuldbyrnelsen af den naturvidenskabelige revolution. Artiklens indhold er en samtidig nuancering af den hårdt optrukne adskillelse mellem naturvidenskab og produktion som seminarrækken var nået frem til—og som fremlægges ovenfor.

Jens Høyrups artikel, "Matematik og krig. Om krigens og de militære behovs indflydelse på de matematiske videnskabers udvikling", har samme nuancering som sit indhold. Artiklens indhold er den detaljerede beskri-

velse af matematikkens udvikling i sammenhæng med en særlig social produktionsfaktorer, krig og krigsforberedelse.

Ib Thiersens artikel, "Det mekaniske verdensbilledes kultur: sammenhænge mellem (natur-)videnskab, historie og kunst", analyserer de indre sammenhænge i den naturvidenskabelige revolutions kultur, og hvorledes disse sammenhænge har kunnet udvikle sig til en kulturel forståelse, der idag producerer omfattende sociale konsekvenser.

Endelig fremlægger Hans Hedals artikel, "Halvlederteknologiens innovationshistorie: En teoretisk skitse af innovationsprocessens dynamik", en detaljeret undersøgelse af forholdet mellem teknokologi, produktion og naturvidenskab i den moderne elektronikindustri, set gennem en analyse af dens sammenhæng med rustningskapløbet.

Det er vort håb at antologien, med disse indledende bemærkninger, vil komme til at virke befordrende for videre forskning, og at den vil blive igangsættende i undervisningsrelaterede sammenhænge.

RUC 1990

Forfattergruppen

Mogens Niss

Noget om naturvidenskab, teknologi og samfund i den naturvidenskabelige revolutions periode

(ca.: 1550-1750)

1. Indledning

I gennem årene har der udspillet sig en omfattende diskussion mellem fagfolk af forskellig baggrund om samspillet, og navnlig påvirkningsforholdene, mellem naturvidenskab, teknologi og samfund. "Hvad er drivkraften for hvad?", lyder det forenklede spørgsmål. Efterhånden er det vel blevet klart, at svaret på spørgsmålet afhænger meget af hvilken historisk periode der betragtes, men også af hvad man mener med henholdsvis "naturvidenskab", "teknologi" og for den sags skyld også "samfund". Det er selvfølgelig ikke min ambition i denne artikel at behandle

hele dette vældige felt. Faktisk er det kun et enkelt hjørne af diskussionen jeg vil bidrage til her.

Det er en udbredt om end ikke enerådende doktrin i litteraturen om samspillet mellem naturvidenskab, teknologi og samfund i historisk belysning, at den periode (ca. 1550-1750) hvor den moderne naturvidenskabelige revolution finder sted, er præget af en påfaldende ringe gensidig påvirkning mellem den indre videnskabelige udvikling og samfundets materielle, herunder navnlig teknologiske, behov. Først fra 1700-tallets slutning optræder for første gang den direkte samfundsmæssige nyttiggørelse af naturvidenskabelige teoridannelser, metoder og resultater som for alvor finder fodfæste i 1800-tallet.

I stedet har man på den ene side lagt vægt på at beskrive de almene samfundsomstændigheder hvorunder den naturvidenskabelige revolution fandt sted, for at søge efter økonomiske, organisatoriske, ideologiske eller kulturelle faktorer der kan gøre det forståeligt at et principielt skift i naturvidenskabelige tankegange og arbejdsmåder finder sted netop i Europa og netop i den omhandlede periode. Som bekendt er der her fremsat mange slags forklaringer. Nogle hæfter sig ved økonomiske og samfundsstrukturelle faktorer, såsom kapitalismens opkomst og borgerstandens økonomiske og politiske fremmarch. Andre hæfter sig ved religiøse og ideologiske forhold, hvad enten det drejer sig om opgøret med den katolske kirkes tankeverden, idéimperialisme og autoritet i intellektuelle spørgsmål, eller om idealer og praksis i protestantiske, specielt puritanske, samfund, som i følge nogle (Weber/Merton) i særlig grad skulle have fremmet holdninger og aktiviteter der er karakteristiske for tidens ny naturvidenskab.

På den anden side har man interesseret sig for hvordan det nye syn på verdens indretning som flød af det naturvidenskabelige gennembrud, påvirkede først de ideologiske og kulturelle og senere også de politiske, organisatoriske og økonomiske sider af samfundenes liv.

Endelig har man—på den tredje side—i økonomihistoriske og teknik-/teknologihistoriske undersøgelser beskæftiget sig med hvordan tekniske og teknologiske tilstande og udviklingsforløb har vekselvirket med samfundets økonomiske og organisatoriske gestaltning. På grund af den omtalte almindelige enighed om at den naturvidenskabelige udvikling i perioden stort set ikke er indgået aktivt i vekselspillet mellem teknologi og samfund, indtager naturvidenskabelige forhold normalt ikke nogen centralplads i sådanne økonomihistoriske eller teknik-/teknologihistoriske fremstillinger.

2. Problemstilling: Uafhængigheds- doktrinenes gyldighed

Doktrinen—vi kunne kalde den "uafhængighedsdoktrinen"—om at naturvidenskabelige landvindinger ikke påvirkede og selv kun var beskedent påvirket af periodens teknologiske og øvrige materielle udviklinger, hænger naturligvis på hvad der menes med "naturvidenskab" og med "teknologi". Ser man nærmere efter viser det sig at den naturvidenskab der opereres med i doktrinen er astronomi og fysik, og her fortrinsvis mekanisk fysik. På disse områder sker der utvivlsomt i disse århundreder et diskontinuert,

kvalitativt skift med mange komponenter, også selv om der er blevet fundet forskellige slags middelalderlige kim og foregribelser af træk ved renæssancegennembruddet, hvorved dette skulle have været mindre abrupt end det sædvanligvis ser ud til. Den uden tvivl væsentligste komponent i skiftet var at fysiske og astronomiske fænomener matematificeredes ved indførelsen af kvantitative matematiske modeller, der blev afprøvet og modificeret ved konfrontation med gamle og nye observationer og eksperimenter. En anden væsentlig komponent var af metafysisk og metodisk art, hvor der blev sat principielle spørgsmålstejn ved overleverede forestillinger og ved autoriteternes, frem for alt de aristoteliske autoriteters, autoritet, hvilket åbnede for nye synspunkter på fortolkningen af i og for sig kendte facts. Disse forhold er nogle af videnskabs- og idéhistoriens grundigst undersøgte og mest debatterede, så dem skal jeg lade ligge her.

Det teknologi-begreb der indgår i doktrinen er straks lidt vanskeligere at få hold på, sådan som det jo i det hele taget er tilfældet med begrebet "teknologi". Skønt man sjældent møder præcise definitioner finder jeg det ikke uberettiget at hævde at der fortrinsvis tænkes på teknologi som et kompleks af fysiske genstande der er stillet sammen for at indgå i samfundets umiddelbare produktion af materielle goder, med henblik på at lette eller overhovedet at muliggøre denne produktion. Materielle goder er både forbrugsvarer til nytte eller fornøjelser, og produktionsmidler, begge dele bredt forstået. Man kunne kort tale om "produktionsteknologi".

Med dette teknologi-begreb og med den ovenfor omtalte afgrænsning af naturvidenskab har jeg ingen væsentlige indvendinger mod "uafhængighedsdoktrinen". Hvis man derimod udbreder "naturvidenskab" til også at omfatte kemi og mineralogi, biologi og medicin, og—med en vis tøven—også matematik, og desuden taler om teknologi i en lidt bredere betydning

som jeg skal komme nærmere ind på om lidt, kan doktrinen ikke længere opretholdes.

3. Teknologibegrebet

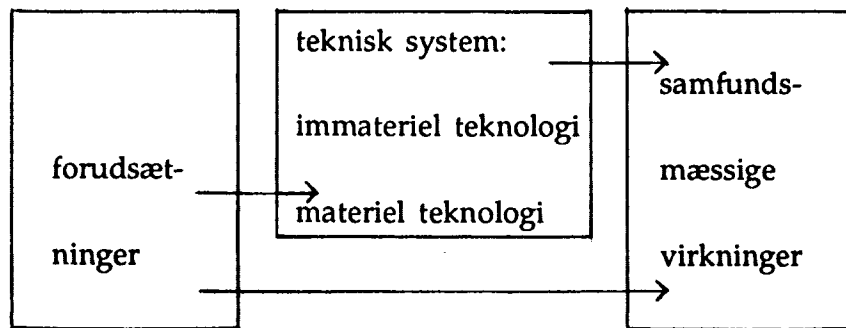
Et begreb om teknologi der er begrænset til det jeg før kaldte "produktionsteknologi" og som sigter mod samfundets umiddelbare produktion af materielle goder, dækker kun en del af den samlede materielle teknologi i samfundet, også i den periode vi her studerer. Ting som kalendere, ure, mikroskoper, termometre, barometre m.m.m. er på den ene side materielle genstande hvis frembringelse er resultatet af en produktionsteknologi, men de er hverken forbrugsvarer eller produktionsmidler. Ikke desto mindre var de materielle genstande som havde betydning for formningen af samfundet i perioden. Der er derfor grund til at indlejre begrebet "produktionsteknologi" som en del af et bredere begreb om *materiel teknologi*.

Men også "materiel teknologi" giver et for snævert teknologibegreb. Af direkte betydning for samfundets *teknologiske infrastruktur* er en række ikke-materielle fremgangsmåder og teknikker, som ikke uden videre har materielle produkter som resultat, men som indgår i forudsætningskæden for frembringelsen af eller omgangen med materielle produkter, og bidrager kraftigt til samfundets formning. Det gælder f.eks. regnskabs- og finansvæsen (herunder renter, fordeling af indskud, udbytter eller gæld, forsikring, bogføring), mønt, mål og vægt, kalendervæsen, astrologi, tidsmåling, navigation, korttegning. Disse ting kunne man passende kalde *immateriel teknologi*.

Sammenfattende opererer jeg altså med teknologi som bestående af dels materiel teknologi og dels immateriel teknologi. Og hvad materiel teknologi angår er produktionsteknologi kun en del.

Den påvirkning teknologien udøver på samfundet begrænser sig ikke til den påvirkning selve det tekniske system udøver gennem de produkter det skaber. Også de *konsekvenser* af økonomisk, organisatorisk, social og kulturel art som installationen af det tekniske system har, er en, nu om dage temmelig påagtet, del af teknologiens indflydelse på samfundet. Et meget mindre påagtet forhold er at også de *forudsætninger*—f.eks. i form af viden og færdigheder, og formidlingen af begge dele gennem undervisning og oplæring, i form af dermed forbundne arbejdsdelinger, af forskning og udvikling osv.—som teknologien hviler på og som derfor må være til stede for at den kan implementeres, har væsentlige samfundsmæssige konsekvenser.

Alle de nævnte faktorer er med til at konstituere det samlede *teknologiske kompleks*, som grafisk kan illustreres således:



Vi vil nu med det opstillede begrebsapparat i hånden undersøge dele af samspillet mellem forskellige former for naturvidenskab, materiel og

Vi vil nu med det opstillede begrebsapparat i hånden undersøge dele af samspillet mellem forskellige former for naturvidenskab, materiel og immateriel teknologi, og samfundets økonomi og kultur i den naturvidenskabelige revolutions tidsalder.

4. Hovedpunkter i materiel teknologi

Spørger vi først om de naturvidenskabelige bidrag til udviklingen af *materiel teknologi* i perioden, er det nærliggende først at skaffe et overblik over nogle af dens karakteristiske nydannelser inden for forskellige teknologiske sektorer.

Inden for *kraftteknologien*, hvis overordnede sigte er at erstatte menneskelig eller dyrisk arbejdskraft med dels stærkere og dels mere effektive kraft-installationer, kom *møllerne* først. Vandmøller var kendt i Europa fra 6.-7. århundrede, hvor de først brugtes til kornmaling. Fra det 11. århundrede benyttedes de tillige til vandløftning og overrisling, fra det 13. århundrede til valkning af klæde og til bearbejdning af papirmasse gennem hammeranordninger påsat møllehjulets aksel, og fra det 14. århundrede til malmkværning og til trækning af reb (f.eks. langs kanaler). Vindmøller er lidt yngre. Fra det 12. århundrede kendes de til kornmaling, fra det 15. århundrede til vandløftning i forbindelse med dræning (Holland). Udviklingen af vindmøllerne passerede gennem tre stadier. I det første stadium havde møllevingelejet en fast position i forhold til møllehuset. Møllen arbejder da kun ordentligt, når vinden har en gunstig retning. I det andet stadium fandt man på at lade møllehuset rotere, så vingerne kunne stå op

mod vinden, mens man på det sidste udviklingstrin, der var fuldbyrdet i det 16. århundrede, nøjedes med at lade møllehovedet være drejeligt. Dermed var den klassiske mølletype fuldt færdig. Den undergik ingen principielle tekniske forandringer før den nyeste tids vindmøller kom til.

Til brug for den ekspanderende mineindustri konstrueredes hejseværker i træ, med stadigt mere indviklede mekanismer. Disse hejseværker var oftest drevet af mennesker eller dyr, men nu og da udførtes arbejdet også af møller. Fra 1550'erne kendes *pumpeanordninger* til minedræning, navnlig i minedriftens foregangsland par excellence, Tyskland. Der var bl.a. tale om sugepumper, der dog højst kan løfte vand ca. 9 m, hvorfor der var behov for at sætte flere pumper i serie. I nogle byer blev sugepumper også benyttet i vandforsyningen.

Fra slutningen af 1500-tallet forsøgte man—bl.a. inspireret af grækeren Heron's *Pneumatik* (fra ca. 100 e.v.t.) der blev oversat i 1575—at udnytte *damp* som kraftkilde. Italieneren Battista della Porta så i 1606, at hvis damp kondenseres i en lukket beholder skabes et undertryk i forhold til omgivelserne og dermed et sugopotentiale. De første mange forsøg på at udnytte dette forhold i praksis førte ingen vegne. Den engelske ingeniør Thomas Savery (1650-1715) konstruerede i 1698 en principielt brugbar men i praksis ineffektiv maskine, beskrevet i hans patentandragende som "The Miner's Friend". Først med Thomas Newcomens maskine fra 1712 lykkedes det at skabe en brugbar damppumpe. Et indtryk af det behov en sådan pumpe afhjælp får man af det faktum at der ved en mine i 1702 var brug for 500 heste til pumpning. I 1750 havde minerne nået en dybde på 200 m. og her var ordentlig fjernelse af vand ved pumpning af vital betydning. Selv om udviklingen af *dampmaskinen* falder uden for den her betragtede periode, kan der være grund til at nævne at James Watt's (1736-1819) første

mange maskiner bygget efter patentet i 1769 var pumper. Først i 1786 benyttede han dampkraften til at skabe en *bevægelsesmaskine*.

En række forbedringer i *transportteknologi* fandt sted allerede i middelalderen. *Seletøj* der trak på hestens bringe i stedet for på dens hals fremkom i det 13. århundrede. I samme århundrede fandt *hjulploven* sin endelige udformning med muldfjæl osv. (Selve oprindelsen til hjulploven er langt ældre). På skibsbygningens område kom man i det 13. århundrede på at afløse styrårer med *ror* fæstnet til agterstavnen. Det gav både en pålideligere og smidigere styring end med det gamle system, og muliggjorde større og tungere *skibsrigninger*, kulminerende med fremkomstem af fuldriggeerne i det 15. århundrede. Principperne i *slusebygning* fandt deres nuværende stade i det 14. århundredes Holland og det 15. århundredes Italien.

Navigation på større have lettedes afgørende af *kompasset* (fra det 12. århundrede), der temmelig sikkert kom fra Kina, af kort—hvor Mercators atlas fra 1569 markerede et gennembrud—og af stedsbestemmelse på havet. Breddegradsbestemmelsen, som jo hviler på den retning sigtelinjen til Nordstjernen (resp. Sydstjernen) har på det pågældende sted i forhold til horisontplanen, sker ved en måling af stedets solhøjde. Denne måling udførtes først ved hjælp af den fra araberne kendte Jakobsstav, der siden undergik forskellige forbedringer frem til *sekstanten*. Denne blev foreslået af Newton (1642-1727) i 1699, realiseret som oktant i 1731 af en engelsk optiker, og forbedret til en egentlig sekstant i sin "moderne" skikkelse i 1747. Længdegraden som jo måles ved Jordens rotation om sin egen akse, bestemmes essentielt ved en tidsmåling i forhold til et fast udgangspunkt (Greenwich). Den gamle metode, hvor man holdt regnskab med tid, sted og kurs ved hjælp af skibsloggen gav ofte fejl på flere hundrede kilometer.

Der blev derfor et stigende behov for gode ure. Det fører os til en nærmere omtale af tidsmåling.

Først og fremmest forudsætter *tidsmåling* et tidsbegreb og et kalendersystem af en eller anden type. Et sådant udviklede sig fortløbende fra ægyptisk og mesopotamisk oldtid, hvor man skabte en kombineret solårs- og månekalender, med et år på 365 dage inddelt i 12 måneder à $29\frac{1}{2}$ dag plus 11 ekstra dage, over grækernes inddeling af døgnet i 24 timer, indtil nutidens gregorianske kalender (efter pave Gregor den 13.) afløste den julianske kalender (stammende fra 46. f.v.t.) i den katolske verden i 1582, hvorfra den med tiden spredtes til alle lande. Inddelingen af timen i 60 minutter à 60 sekunder stammer fra det babylonske seksagesimale tal-system.

Selve målingen af tiden ordnedes fra antikken ved hjælp af solure, vandure, timeglas osv. De tidligste mekaniske (lod)ure kendes fra omkring 1340, fjederdrevne ure fra 1450. Galilei (1564—1642) skitserede i 1641 et pendulur (hvis princip hvilede på den observation at svingningstiden i et pendul er konstant), som siden blev bygget af hans søn. Christian Huygens (1619-95) lavede i slutningen af 1600-tallet snedige forbedringer, bl.a. til skibsfartsformål. Nu var der imidlertid det problem at den slags ure—af nærliggende grunde—ikke virker så godt på søen. Den britiske regering udskrev derfor i 1714 en prisopgave i fremstillingen af et nøjagtigt ur der kunne bruges til søs. Det førte til konstruktionen af en række kronometre, som de snart kom til at hedde, mange udført af englænderen Harrison, der indkasserede prisen i 1759. Fremstillingen af ure stillede store krav til finmekanisk arbejde, som bl.a. på den måde udsattes for et udviklingspres der bidrog til forbedrede og forfinede materialebehandlingsmetoder.

En hensigtsmæssig *bearbejdelse af materialer* lettedes betragteligt af indførelsen engang i det 13. århundrede af *drejebænke* i principielt den skikkelse der—selv om den skulle gennemløbe mange mindre ændringer—skulle blive stående indtil slutningen af 1800-tallet. I primitivere former var drejebænksagtige værktøjer meget ældre.

Forskellige *mekaniske udvekslinger*, såsom kæder, gear, kardanled, løfteanordninger, boremaskiner m.m.m. konstrueredes i det 15. og det 16. århundrede.

Støbningen af *glas* går tilbage til antikken, men perfektioneredes i det 16. århundrede navnlig af italienske (venetianske) glasmagere, der dels anvendte særlige råvarer, dels betjente sig af specielle støbningsteknikker, til opnåelse af ekstra fint og efterspurgt glas. I øvrigt udvidedes anvendelsesområdet for glas, f.eks. til apotekerkolber, vinduer, linser, spejle osv. På tilsvarende måde skete der stadige fremskridt inden for *porcelænsfabrikation*, hvor blandt andet opfindelsen i Tyskland omkring 1700 af såkaldt "hårdt porcelæn" markerede et nyt kvalitetsniveau. For så vidt kan man anskue såvel glasstøbning som porcelænsfremstilling som en afart af *kemisk industri*, som i perioden også udviklede sig i andre retninger, f.eks. i produktionen af *krudt*, *sæbe*, *soda*, *farvestoffer*, *destillation* af alkohol, fremstilling af *medikamenter* osv. Disse ting omtales nærmere nedenfor.

Til fremstillingen af *støbejern* kræves højere temperaturer end til smedejern. Det indebærer større ildsteder hvor den høje temperatur kan holdes længe nok, hvilket på sin side fordrer kraftig indblæsning af luft. Støbejern, der i begyndelsen frem for alt fik betydning for fabrikationen af kanoner, kunne fremstilles fra det 13. århundrede, men først i det 15. århundrede var teknikken tilstrækkelig til at muliggøre en bredere anvendelse. Virkelige

forbedringer i produktionen af støbejern fremkom efter opfindelsen i 1760'erne af *højovnen* med dampumpedrevet luftindblæsning.

Industrialiseringens første fase kom især til at præge tilvirkningen af *tekstiler*. Men teknologiske forandringer havde fundet sted på området i århundrederne før. De første tekstilfabrikker opstod allerede i middelalderen. Der var således 120 vævere i Amiens i 1371, og på en fabrik i England omkring 1500 betjente 600 arbejdere 200 væve. Komplicerede *rammewæve* var i Europa fuldt udviklede i det 13. århundrede. I det 14. århundrede var vandkraftsdrevne *spindemaskiner* så effektive at tre operatører kunne erstatte flere hundrede arbejdere. En så indviklet anordning som en *strikkemaskine* så dagens lys allerede i 1589.

Vævene blev stadigt forbedrede. Opfindelsen af *flyveskyttelen* i 1733 øgede vævehastigheden betragteligt. Derved flyttedes tekstilproduktionens flaskehals til spindeprocessen, og der kom tryk på bestræbelserne på at udforme mere effektive spindemaskiner. Den første var den berømte "*Spinning Jenny*" fra 1768, som blev stærkt forbedret af Crompton i 1779. Fra begyndelsen af 1800-tallet kunne både spindemaskiner og vævestole drives af en dampmaskine.

Mangfoldiggørelsen af skrifter gennem *trykning* havde som første forudsætning et let tilgængeligt materiale at trykke på. *Papiret* blev indført i Europa omkring 1150. Det skete gennem Spanien, hvortil papiret nåede fra den arabiske verden, som temmelig sikkert havde det fra Kina, hvor det var opfundet omkring 100 e.v.t. Anvendelsen af bloktryk til pengesedler og spillekort m.m. kendes fra det 14. århundrede, mens teknikken benyttedes til trykning af bøger omkring 1450. Gutenbergs (ca. 1397-1468) opfindelse og benyttelse af *løse metaltyper* sammen med en *trykpresse* fra

omkring 1450 førte hurtigt til en mængde bøger trykt med den nye metode. Pr. 1500 var der allerede trykt ca. 40.000 bogtitler i Europa.

En række tekniske nydannelser lader sig ikke placere inden for en afgrænset teknologisk sektor. Det gælder bl.a. slibningen af linser og deres udnyttelse til *briller* (1350), til *kikkerter* (1608) og *mikroskoper* (1612-18). Det gælder endvidere *termometre* (lufttermometret 1600, væsketermometret 1650) og *barometre* (1643), samt *luftpumper* af forskellig konstruktion, og i øvrigt en række videnskabelige og andre *instrumenter*.

Det er selvfølgelig en uoverkommelig opgave at kortlægge alle betydende tekniske nydannelser og teknologiske forandringer hørende til den periode vi betragter. De ovenfor skitserede må være tilstrækkelige til at antyde nogle hovedpunkter.

5. Fysik og materiel teknologi

I næsten ingen af de eksempler på materiel teknologi der her er givet, har tidens *teoretiske* naturvidenskab, der næsten udelukkende omfatter (dele af) fysik og astronomi, haft nogen nævneværdig betydning for udviklingen. I et par af eksemplerne har teoretisk naturvidenskab haft en baggrunds-betydning, som f.eks. i forbindelse med navigation og stedsbestemmelse der var baseret på et ret elaboreret verdensbillede. Men ellers er påvirk-

ningen fra teoretisk naturvidenskab til materiel teknologi til at overse. Så langt kan uafhængighedsdoktrinen sikkert opretholdes.

Derimod udviser *nogle* af eksemplerne et tæt samspil mellem teknologi og *eksperimentel* fysik og observationel astronomi. Udnyttelsen af forskellige luftpumper der alle bygger på skabelsen af en grad af vakuum, enten ved hjælp af mekaniske processer eller ved hjælp af kondenseret damp, gik hånd i hånd med samtidens—og faktisk også fortidens (Heron's)—eksperimentelle udforskning af vakuum, luftens tryk osv.—under ét: *pneumatik*. Galilei skal således være blevet opmærksom på det uholdbare i den klassiske forestilling om umuligheden af vakuum ved at se vand blive løftet ca. 9 m fra en brønd ved hjælp af en sugepumpe. Samtidig lagde han mærke til at de 9 m tilsyneladende udgjorde en uoverstigelig grænse. Han sluttede at naturen gjorde modstand mod dannelsen af vakuum. Italieneren Berti gjorde en beslægtet observation da han så at vandet i et rør der var lukket i den ene ende og hvis anden ende sænkedes ned i et kar med vand, kun løber ud til et vist punkt. Torricelli (1608-47) gentog (ca. 1643) dette forsøg med et rør indeholdende kviksølv, og forudså at kviksølvsøjlen ville være lige så mange gange kortere end vandsøjlen som kviksølv er tungere end vand. Det viste sig at stemme. Torricelli sluttede at luften udøver et tryk, og lagde desuden mærke til at det var forskelligt til forskellige tider. På den måde blev Torricellis rør det første barometer. I 1648 foranstaltede Pascal (1623-62) forsøg med måling af kviksølvsøjler i forskellige højder over havet, og fik bekræftet sin antagelse om at søjlen ville være kortere jo højere man kom op. For tyskeren Otto von Guericke (1602-86) lykkedes det i 1650'erne, efter at han havde hørt om Torricelli's eksperimenter, at pumpe så meget luft ud af en kobberkugle sammensat af to halvkugler, og kun holdt sammen af luftens tryk, at to hold heste ikke kunne trække dem fra hinanden (forsøget med "de magdeburgske halvkugler"). Robert

Boyle (1626-91) var den der udførte de mest vidtrækkende pneumatiske eksperimenter. Med assistance fra Robert Hooke (1635-1703), der konstruerede en effektiv luftpumpe for ham, gjorde han i 1650'erne en række forsøg, dels med indespærrede gassers tryk, dels med forskellige processer under vakuum. Her så han at magnetisme og lys var upåvirket af vakuum, mens lyd ophørte og dyr døde. Varmt vand kogte kraftigt, men flammer gik ud.

Som før nævnt indgår også *penduluret* i et tæt samspil mellem eksperimentel naturvidenskab (Galileis undersøgelser over pendulers svingningstid) og teknisk udvikling. Også *linsestøbning* og *linseslibning* og anvendelsen af linser til briller og optiske instrumenter, som kikkerten og mikroskopet, udgjorde et sammenvævet kompleks af teknisk og eksperimentel udvikling. Således fandt f.eks. Descartes ud af at farveforvrængningen gennem en kikkertlinse kunne afhjælpes ved at slibe linserne med ikke-sfærisk krumning. De tekniske krav det stillede til deres udformning var i begyndelsen uoverstigelige.

Billedet bliver yderligere uddybet når vi inddrager det før omtalte forhold at en del teknologisk udvikling finder sted fordi behov for instrumenter og apparater i eksperimentel naturvidenskab gav ophav til et teknisk udviklingspres, f.eks. inden for finmekanik, materialeudvikling (f.eks. nye legeringer), glasfremstilling og altså linsestøbning og -slibning.

6. Materiel teknologi og kemi

Vender vi os til områder som kemi, metallurgi og mineralogi, biologi og medicin, er det næsten ikke muligt at skille fremskridt vedrørende tekniske, produktionsmæssige og andre praktiske gøremål fra videnskabelige fremskridt.

Kemien udviklede sig, i en ubrudt linje fra den middelalderlige arabiske videnskabstradition, ind til slutningen af 1600-tallet frem for alt i tilknytning til: udvinding og oprensning af metaller, raffinering af salt og salpeter, destillation, fremstilling af glas og keramik, sæbe og soda, farvestoffer, krudt osv., dvs. alt sammen praktiske ting fra minedrift, metaludvinding og -bearbejdning og fra "materialisternes" værksteder. Destillation af alkohol—som i begyndelsen blev anvendt som medicin—var kendt fra det 12. århundrede. Bernal omtaler destillerier som de første videnskabelige industrier. Tekster som *Bergbüchlein* (1505), *Destillationsbog* (1512), Agricola's berømte *De Re Metallica* (1556), og Erckers traktat om malme og prøvetagning fra 1576 præsenterede fremgangsmåder og kneb i mineralogi og metallurgi. Også alkymien indgik i dette sæt af praktisk orienterede forehavender. Ofte omtales Andreas Libavius' *Alkymia* (1606) som den første traktat om kemi. Mange nye stoffer—som fosfor, bismuth og platin—blev opdaget ved "tilfældig" eksperimenteren.

En med alkymien (f.eks. gennem Paracelsus) forbundet kilde til kemiens udvikling finder vi i medicinen, nærmere bestemt i fremstillingen af medikamenter. En mere systematisk farmaci opstod i begyndelsen af 1600-tallet, naturligvis også trækkende på århundreders erfaringer med og

forestillinger om lægeurter, hovedsagelig indhentet i klostrene. Det var ud af farmacien at en senere tids forsøg på at forstå kemiske reaktioner og forandringer voksede. Selve ordet "kemi" blev først gængs fra midten af 1600-tallet. Den første egentlige lærebog i kemi blev skrevet (af Nicholas Lemery i 1675) med medicinske anvendelser for øje. Da kemien fra begyndelsen af 1700-tallet blev et universitetsfag var det som støttefag for undervisningen i medicin.

Det skulle fremgå at det ikke er let at skelne mellem fremskridt i kemisk teori, som omhandlende stoffets natur og egenskaber, og praktisk kemi. Kemisk teori bestod i det væsentlige i beskrivelser af opskrifter—hvori forbrænding spillede en hovedrolle—til opnåelse af bestemte resultater. Naturfilosofiske interesser havde ingen særlig plads her, selv om man ofte henviste til udgaver af antikt prægede forklaringer af "element-typen", men mere som bordbønner end som egentlige forklaringsforsøg. Et af de tidligste forsøg på at skabe en fysisk teori, baseret på partikelmekaniske forestillinger, for kemiske processer, skyldtes Newtons ven Robert Boyle, som i sin *Skeptical Chymist* (1661) drog i felten mod de gængse elementteorier. Det lykkedes ham dog ikke for alvor selv at skabe et fysisk grundlag for kemisk teori. Først i de sidste årtier af 1700-tallet og i begyndelsen af 1800-tallet skete der, med skikkelser som Priestley og Lavoisier og med opdagelsen af oxygen som en vital faktor i al forbrænding, væsentlige skred i kemiens teoretiske udvikling.

7. *Medicin og biologi*

Uanset hvor bestræbelserne på at helbrede sygdomme skal placeres i forhold til distinktionen mellem materiel og immateriel teknologi, er der dog tale om et temmelig praktisk og umiddelbart nyttebetonet foretagende af teknologisk karakter. *Lægekunst og lægevidenskab* har altid haft samfundets bevågenhed. Begge dele virkede i den periode vi undersøger i direkte forlængelse af en antik tradition. Kirurgien må betragtes for sig. Kirurger var et "simpelt" folkefærd i slægt med barberer og andet godtfolk, hvis kunnen blev erhvervet gennem mesterlære. Kirurgien udøvedes uden forbindelse til universitetsmedicinen, som i høj grad virkede ved at studere skrifter, frem for alt den græske læge, anatom og fysiolog Galen's (130-ca. 200) værker, oftest i senere kommenterede udgaver. Galen's indflydelse var kolossal langt op i 1600-tallet. Den praktiske indebyrd af universitetsmedicinen var forslag—som altså var afledt af litteratur- og andre teoretiske studier—om kure og om indtagelse af medikamenter (tit kviksølv!), hvis opgave det var at retablere balancen mellem de fire legemsvæsker i patienten.

Den skole der fulgte alkymisten og lægen Paracelsus (1493?-1541) udgør en undtagelse fra reglen om at tidens medicin var galensk. I modsætning til den klassiske sygdomslæres legemsvæsketeorier, tænkte Paracelsus sig at sygdomme kan opstå af ydre årsager, f.eks. giftstoffer i omgivelserne, og at de kan afhjælpes med kemisk-alkymistisk terapi. Med tiden smeltede det galenske og det paracelsianske spor i medicinen sammen til et.

Udviklingen i *anatomi* og *fysiologi* havde sin basis i universitetsmedicinen og tjente dens formål. De fremskridt der sker på området, hidrører fra tilvejebringelsen, gennem eksperimentelle og andre empiriske undersøgelser, af nye kendsgerninger, ikke så meget fra opkomsten af principielt nye tankegange. Den moderne anatomis gennembrudstekst, Andreas Vesalius' (1514-65) *De Humani Corporis Fabrica* (1543) ligger således begrebsligt set klart i den galenske tradition. Gennembruddet består i fremlæggelsen af nye fakta, erhvervet ved dissektion af mennesker. Dissektioner var ikke tilladt i oldtidens Grækenland, hvorfor Galen's resultater hvilede på dissektion af dyr (bl.a. aber), men blev tilladt nogle steder i Europa fra begyndelsen af 1300-tallet, f.eks. ved universitetet i Bologna, hvor de indgik i obduktion til retslige formål. Detaljerede bogtrykte illustrationer spillede en stor rolle for fremskridtene i anatomen.

Under deres dissektionsstudier lykkedes det ikke renæssancens anatomer at finde de huller/porer i væggen mellem højre og venstre hjertekammer, som i følge den galenske teori skulle forklare hvordan blodet kommer fra venstre til højre kammer. Michael Servetus (1516-53) publicerede arabiske anatomers antagelse om at *noget* blod måtte passere fra højre til venstre kammer gennem lungerne, det såkaldte "lille kredsløb". Nogle af Servetus' efterfølgere nåede frem til at *alt* blod måtte passere gennem lungerne. Først William Harvey (1578-1657), der havde studeret filosofi og medicin i Cambridge og Padua, indså at blodet indgik i et kredsløb i kroppen gennem hjertet. Hans resultater—offentliggjort i *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus* (1628)—hvilede på to forhold. For det første gjorde han et beregningsoverslag i følge hvilket der i gennem hjertet på en halv time løber mere blod end der kan være i hele kroppen. Det er kun muligt hvis der sker genbrug, cirkulation, af blodet. For det andet udførte han empiriske undersøgelser, bl.a. på mindre dyr, der viste

at arterierne fører blodet *fra* og venerne fører det *til* hjertet, og at veneklapperne hindrer blodet i at løbe tilbage i venerne. Derimod gjorde Harvey ikke rede for hvordan blodet kom fra arterie- til venesystemet. (Kapillærerne blev først fundet senere (af Malpighi (1628-94)) ved hjælp af mikroskop).

Senere udførte Richard Lower in-vitro-eksperimenter—offentliggjort i *Treatise on the Heart* (1669)—hvor han så at veneblod skiftede farve under påvirkning af luft. Heraf sluttede han at lungernes opgave netop var at udsætte blodet for denne luftens påvirkning. Man gjorde sig forestillinger om blodet som bærer af nyttige substanser—det havde man sådan set altid gjort—og eksperimenterede med blodtransfusioner, der i begyndelsen gerne fik en fatal udgang.

Descartes (1596-1650) tog Harveys model til sig og beskrev hjertet som en mekanisk pumpe drevet af sin egen varme, og forestillede sig fordampnings- og fortætningsprocesser i blodkredsløbet. Han mente at Gud har bygget mennesket som en maskine, og at døden skyldes en maskinfejl, en tankegang der fik stor indflydelse på fysiologien i anden halvdel af 1600-tallet. F.eks. forsøgte den italienske matematiker og astronom Giovanni Borelli (1608-79) at regne på flow'et i hjerte-kar-systemet, som han anså som et stort mekanisk-hydraulisk system.

En anden side af biologiens udvikling fandt sted inden for zoologi og botanik. Disse områder var præget af nøgterne beskrivelser—gerne omhyggeligt illustrerede—af de undersøgte planter og dyr, og en umådelig iver efter at indsamle, identificere, navngive og klassificere dem. I begyndelsen beskæftigede man sig navnlig med organismer af betydning eller interesse for mennesker: husdyr, spiselige planter, lægende urter osv. Efterhånden stødte en interesse for det eksotiske til, bl.a. stimuleret af

samlere af rariteter såsom fossiler, sjældne insekter osv., en interesse som ofte begrundedes i lovprisningen af Guds skaberværk. Naturhistoriske beskrivelser af planter og dyr udkom i bogform, som Brunfels' og Fuch's virkelighedstro herbarier (henholdsvis 1530 og 1542), Conrad Gesners's *Historia Animalium* (fra årene 1551-1621) og Thomas Mouffet's *Insektteater* (1634). John Ray grundlagde med en imponerende række værker (*Historia Generalis Plantarum* (1686-1704), *Ornithologia* (1676), *Historia Piscium* (1686) og *Historia Insectorum* (1710)) moderne systematisk biologi. Omkring 1700 var 18.000 forskellige planter beskrevet.

De deskriptive sider af biologien gjorde et spring fremad med opfindelsen (1612-18) og udnyttelsen af mikroskopet. Robert Hooke skrev med *Micrographia* (1665) den første traktat om mikroskopi, hvori han beskrev insekter, frø, fjer, vinger m.v. Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723) konstruerede indtil da uovertrufne mikroskoper og fandt spermatozoer (hvis rolle i befrugtningen først blev klarlagt i 1824), røde blodlegemer, bakterier og protozoer, mens Jan Swammerdam (1637-80) og Marcello Malpighi beskrev insekters anatomi. Malpighi fandt som før nævnt også blodkarnettets kapillærer, tungens smagsløg, og undersøgte nybefrugtede kyllingefostre, lever, hjernebark, og diverse dele af planter.

Når biologien bevægede sig væk fra det beskrivende og tog fat på at teoretisere over spørgsmål som organismers oprindelse og udbredelse, fosterudvikling, morfologi og forskellige organismedeles funktion, var fritsvævende spekulationer en udbredt foreteelse. En af de ting man diskuterede var om organismer kunne opstå umiddelbart af dødt stof, ved spontan generation, sådan som Aristoteles og hans efterfølgere havde troet. Harvey opponerede mod dette synspunkt og hævdede at selv de mindste organismer voksede ud af æg. Italieneren Francesco Redi (1626-1678) gav

eksperimentelt belæg for at der kun kan gå orm i rådnende kød hvis der er fluer til stede. At også planter har kønnet formering blev slået fast af Camerarius i 1694. Et andet diskussionsemne var fosterudvikling, embryologi, hvor Malpighi var talsmand for at fostrets form var den samme lige fra begyndelsen og at udviklingen alene angik størrelsen, mens Harvey mente at der også fandt formdifferentiering sted.

Nye veje i biologien blev åbnet af englænderen Stephen Hales (1677-1761) der med *Vegetable Staticks* (1727) grundlagde moderne plantefysiologi ved at inddrage eksperimentelle metoder og benytte kvantitativt prægede begreber, som safttryk og respiration (som han betragtede som en funktion af plantens bladareal). Gennem sine eksperimentelle studier afviste han forestillingen om et blodkredsløb i planter, en forestilling som ellers havde vundet tilhængere efter at Harveys model for blodkredsløbet hos pattedyr var blevet almindeligt accepteret.

Skønt vigtige træk ved udviklingen af biologi retrospektivt ser mere ud som grundforskning end som praktisk begrundet forskning, var den i samtiden nært forbundet med lægevirksomhed. Det var da også i høj grad læger der stod for undersøgelserne, også inden for områder som botanik og mikroskopi, og på helt andre gebeter end biologiens (Cardano, Gilbert). Universiteterne ansatte kun botanikere på grund af deres brugbarhed for medicinstudiet.

Vi har i dette afsnit fundet, at inden for områderne kemi, metallurgi og mineralogi, biologi og medicin, smelter den videnskabelige og den praktiske udvikling i perioden sammen til en—også selv om der som altid i en sådan udvikling forekommer "lokale grundforskningsforløb", som isoleret betragtet ikke har et umiddelbart praktisk øjemed.

Der sker i kemi og mineralogi, i biologi og medicin kun få principielle *brud* med den foregående periodes grundlæggende doktriner. (Den cartesianske opfattelse af mennesket og andre dyr som en maskine må dog nok ses som en undtagelse herfra.) Stort set er der på disse områder tale om en indholdsmæssig og metafysisk kontinuitet i udviklingen.

8. Påvirkningen fra materiel teknologi til eksakt naturvidenskab

Stiller vi dernæst spørgsmålet om materielle teknologiske behovs igangsættende virkninger over for naturvidenskabelig udvikling, er svaret netop blevet givet når det gælder kemi og mineralogi, biologi og medicin.

På fysik- og astronomisiden gav et fænomen som *magnetisme*, som man bl.a. var stødt på i sammenhæng med *kompasset*, og som i øvrigt indgik i diverse magiske aktiviteter, anledning til både eksperimentelle og teoretiske studier, der kulminerede med udsendelsen af William Gilberts (1540-1630) traktat *De Magnete* i år 1600. Ved det italienske Accademia del Cimento, grundlagt i 1657, opbyggedes Europas bedste samling af videnskabeligt udstyr. Akademimedlemmerne (hvortil Niels Steensen (1638-86) en tid hørte) havde til opgave i Galileis og Torricellis spor at opstille demonstrationsforsøg inden for pneumatik og mekanik, og også inden for magnetisme.

Eksperimentelle og praktiske erfaringer med *ballistik*, altså projektilers håndtering og opførsel, spillede en rolle for udviklingen af den mekaniske fysik, som bl.a. søgte at beskrive og forklare projektilbaner, dog næppe ud fra noget nyttestandpunkt. Den teoretiske indsigt man nåede på området (hvor Galileis erkendelse, offentliggjort i *Diskurs om to nye verdenssystemer* (1638), af at et partikelformet projektil der bevæger sig uden luftmodstand har en parabelformet bane, markerer et foreløbigt højdepunkt), blev dog ikke nyttiggjort i periodens artilleripraksis, simpelthen fordi man ikke kunne affyre projektiler med en nøjagtighed der gav mening i forhold til den teorien opererede med.

Erfaringer med *optiske instrumenter* gav afkast til omfattende forsøg på at forstå forskellige optiske fænomener og lys i det hele taget. Descartes formulerede sinusloven for lysets brydning og gav (i *Dioptrique*, 1638) en stort set korrekt forklaring på regnbuens opståen. Han slog i øvrigt til lyd for en opfattelse af lyset som bestående af partikler, den såkaldte "korpuskularteori". Heri var han af en anden opfattelse end senere Hooke, der i *Micrographia* (1665) talte om lyset som en bølge af pulser der forplanter sig i rummet ligesom ringe i vandet. Tilsvarende synspunkter blev fremsat af Huygens i *Traité de la lumière* (1690). Newton stillede sig i *Opticks* (1703), hvor bl.a. lysets farvespredning i et prisme beskrives og søges forklaret, på et korpuskularteoretisk standpunkt.

Vi kan tilføje—lidet overraskende, måske—at fremkomsten af forskellige videnskabelige *instrumenter*, hvor kikkerten er et hovedeksempel, afstedkom kvalitative observationer (f.eks. Galileis af Jupiters måner i 1610), der fik afgørende betydning i accepten og udviklingen af det nye verdensbillede.

Disse få betragtninger viser at der *findes* markante eksempler på at vigtige udviklingslinjer i teoretisk fysik og astronomi stimuleredes af nydannelser i materiel teknologi. Det skal ikke bortvejes at det fra eftertidens synspunkt virkeligt spektakulære spring fremad i periodens naturvidenskab: formuleringen af en—på det valgte beskrivelsesniveau korrekt—matematificeret mekanisk enhedsfysik, omfattende både jordiske og himmelske legemer, hører hjemme i en kategori for sig, og at udviklingen af den mekaniske fysik og det nye verdensbillede forbundet med den, foregik i *det væsentlige* upåvirket af behov og begivenheder i den materielle teknologiske verden.

Matematikkens situation i perioden var særlig, derved at to temmelig forskellige traditioner smeltede sammen til én, hvilket sammen med den succesrige matematificering af astronomien og fysikken gav ophav til en fabelagtig udvikling og vækst i matematikken, både i teoretisk og i anvendelsesmæssig henseende. Den ene tradition—som, overtaget fra araberne, videreførte et nærorientalsk (babylonsk, oldægyptisk, alexandrinsk, indisk og arabisk) spor—havde skabt et udviklet talsystem og en dermed forbundet algebra og til dels også geometri, sigtende mod beregning af størrelser fra samfundets økonomiske og tekniske virkelighed. Den anden tradition hidrørte fra antikkens Grækenland og beskæftigede sig med inden for en naturfilosofisk tradition at beskrive bærende træk ved det fysiske rum og visse objekter i det, ved hjælp af en abstrakt, aksiomatisk-deduktiv geometri—den euklidiske geometri—som, om end den omhandlede den fysiske verden, havde meget lidt forbindelse med praktiske anvendelser. Dette sidste var da også årsagen til at den klassiske euklidiske geometri gik i glemmebogen, som dog blev opbevaret i byzantinske arkiver og siden genåbnet og studeret af arabiske matematikere i middelalderens Islam. Først omkring 11-1200 stiftede europæiske lærde bekendtskab med de

græske tekster (i begyndelsen i oversættelser fra arabisk), som derefter i de følgende århundreder oplevede en renæssance.

At matematikken i perioden fik en så kraftig opblomstring at der nærmest er tale om en kvalitativ og kvantitativ eksplosion, betyder ikke at der var tale om et brud med de to traditioner der fødte den, men netop om en sammensmeltning af dem. Selve genoptagelsen af matematisk aktivitet i renæssancen skyldtes utvivlsomt nyttehensyn (først og fremmest stammede fra handelslivet), der blev tilgodeset af den nærorientalske tradition. Men selve den vej opblomstringen tog kunne ikke have været fundet og udbygget alene ved iagttagelse af nyttehensyn; den krævede befrugtning fra "grundforskningens"—in casu klassiske græske—synsmåder.

I matematik har nogle, men langt fra de fleste, af periodens fremskridt et anvendelsesmæssigt udspring, ligeom omvendt nogle—men igen langt de færreste—af matematikkens resultater hurtigt fik en nyttiggørelse til samfundsmæssige formål.

9. Immateriel teknologi og eksakt naturvidenskab

Noget anderledes stiller sagen sig, hvis vi hæfter os ved samspillet mellem *immateriel teknologi* og naturvidenskab. Som vigtige eksempler på immateriel teknologi der udvikles og udbredes i perioden kan vi nævne:

- (1) talsystemet, talrepræsentation, beregninger og tabeller
- (2) kalendervæsen og tidsbestemmelse
- (3) stedsbestemmelse og geodæsi
- (4) navigation
- (5) landmåling og kartografi
- (6) design af bygninger og anlæg, og tegninger heraf
- (7) perspektivkonstruktioner
- (8) mønt, mål og vægt
- (9) handels-, finans- og skattevæsen
- (10) begyndende demografi
- (11) begyndende forsikringsvæsen
- (12) ballistik.

Det første punkt i denne liste over elementer i samfundets teknologiske infrastruktur udpeger nogle matematiske ingredienser som er gennemgående for hele komplekset. Overleveret fra araberne fik Europa fra begyndelsen af 1200-tallet adgang til det hindu-arabiske positionelle 10-talssystem med cifrene 0,1,...9, ca. i den skikkelse vi kender det i dag, og med en ledsagende aritmetik og algebra. Fra i begyndelsen at være et redskab for en eksklusiv kreds af kyndige regnemestre, spredtes dette system i de følgende århundreder til almindelig brug. Fra begyndelsen af 1600-tallet benyttedes også decimalbrøker, for hvis brug den hollandske ingeniør og matematiker Simon Stevin (1548-1620) advokerede i bogen *De Thiende* (1585). Indførelsen af decimalsystemet gav en stor lettelse i udførelsen af praktiske beregninger. En anden metodisk og begrebslig lettelse, navnlig for skabelsen af astronomiske og andre tabeller, kom med opfindelsen af logaritmerne (Napier 1614, Briggs 1617 og 1624). Der blev straks udarbejdet logaritmetabeller, ligesom der i øvrigt fremlagdes stadig mere nøjagtige tabeller over forskellige størrelser, frem for alt trigonometri-

ske og astronomiske (Regiomontanus 1464 (1533) og 1490, Viète (1540-1603) 1579, Pitiscus 1613). Endvidere blev matematiske operationer gjort langt mere gennem- og overskuelige ved den gradvise indførelse af algebraiske notationsformer (Viète og Descartes m.fl.) Med alt dette har vi ikke omtalt de umådelige rent matematiske fremskridt der fandt sted i perioden, og som kom til at spille en dominerende rolle for både den naturvidenskabelige og den tekniske udvikling i de efterfølgende århundreder.

Jeg skal afstå fra her i detaljer at forsøge at udrede forudsætnings- og påvirkningsforholdene vedrørende listens elementer. Nogle sammenfattende bemærkninger må række. Fælles for punkterne (2)-(5) er at opstillingen af det nye verdensbillede, både som overordnet ramme og som konkret model, samvirkede med eksperimentelle, instrumentmæssige, tabelmæssige og navnlig matematiske bidrag i frembringelsen af nøjagtigere kalendre, præcisere tids- og stedsbestemmelser, nøjagtigere bestemmelse af Jordens form og af afstande på Jorden, pålideligere navigation, og bedre landmåling. I det franske Académie des Sciences (oprettet 1666) og Paris-observatoriet (oprettet 1669) forestod matematikere, fysikere og astronomer (bl.a. Ole Rømer (1644-1710)) i slutningen af 1600- og begyndelsen af 1700-tallet en række måle- og beregningsprogrammer, bl.a. udført af ekspeditioner til Canada, Sydamerika og Lapland, hvori der indsamledes astronomiske og andre observationer. En af de ting de viste var at Jorden er lidt fladtrykt ved polerne, en påstand som Newton havde fremsat i *Principia* (1687) ud fra teoretisk-mekaniske betragtninger. Et andet resultat var at Jordens afstand til Solen blev bestemt næsten korrekt. En snedig urkonstruktion udført af Huygens hvilede på egenskaber ved den af ham selv og andre undersøgte cykloidebue (den kurve der frembringes af et punkt på en cirkel som ruller på en ret linje).

Fremstillingen af kort over større udsnit af Jorden lider af den indbyggede matematiske vanskelighed at det af principielle grunde er umuligt at udfolde et stykke af en kugle på en plan. Det betyder bl.a. at man ikke korrekt kan måle alle afstande mellem vilkårlige punkter på Jorden ved at måle på et plant kort. (At det forholder sig sådan blev først matematisk bevist lige ved slutningen af det 18. århundrede). Der er derfor brug for forskellige slags kortprojektioner til forskellige formål. Mercators (alias Gerhard Kremer (1512-94)) kort fra 1569 indvarslede en ny æra på området. Han introducerede her den projektforsm der siden har fået hans navn, og som har den praktiske egenskab at skibskurser på Jordkloden med fast kompasretning aftegnes som rette linjer i Mercatorprojektion.

Arkitekt- og ingeniørkonstruktioner undergik betydningsfulde forandringer. Det blev f.eks. muligt at bygge store kuppelhvælv. Konstruktions- og arbejdstegninger var vigtige hjælpemidler til det, bl.a. fordi konstruktionerne ikke kunne baseres på en velfunderet teoretisk statik. Det var også i dette miljø at de første systematiske fremstillinger af perspektivkonstruktioner kom til verden. Allerede Brunelleschi (1377-1446) var inde på sådanne muligheder, men den første matematiske traktat om emnet var Leone Battista Alberti's *Della pittura* fra 1435 (trykt i 1511). Malere, arkitekter og ingeniører som Piero della Francesca (ca. 1410-92), Leonardo da Vinci (1452-1519) og Albrecht Dürer (1471-1528) udbyggede konstruktionerne og forbedrede deres matematiske fundament.

Mønt-, mål- og vægtsystemer udgjorde i den betragtede periode et virvar, ikke blot landene imellem, men også i forskellige regioner inden for det samme land. Det gav store problemer med etableringen af lokale standarder, med sammenligning og omregning mellem systemerne, og med tiden også med samordningen af dem. Ud over metallurgiske opgaver (vedrøren-

de legeringer og deres lødighed), opgaver med fastsættelse og udførelse af måleprocedurer osv. stillede omgangen med de forskellige systemer store regnemæssige krav, ikke mindst fordi de færreste mønt-, mål- og vægtenheder var grundet på decimalsystemet. På samme måde var der store krav til regnekundskaberne på handels-, finans- og skatteområdet, der yderligere frembød komplicerede opgaver angående fordeling af varer eller penge i sammenhæng med indskud, udbytter, arv, gæld osv., opgaver der sædvanligvis krævede løsning af ligninger. Netop dette område—algebraens—var et af de første fra den nærorientalske matematiktradition der blev tilegnet, dyrket og i 1500-tallet bragt substantielt videre, i Europa.

Fra slutningen af 1600-tallet begyndte man, fortrinsvis i England, at registrere og finde mønstre i fødsels- og dødstal. Det lagde grunden til kvantitativ befolkningsbeskrivelse, demografi. Man tog endvidere skridt til forskellige former for forsikringsarrangementer, også et område som hurtigt fik matematiske ben at gå på.

Lad os endnu engang slå fast, at for alle de nævnte områder under immateriel teknologi er *matematik* en nøglefaktor. Til gengæld er der nok tale om at det matematiske indhold i områderne i mindre grad er *skabt* i perioden. Hovedparten af den involverede matematik stammer fra tidligere epoker: fra den ægyptiske og mesopotamiske oldtid, den græske antik, Indien i perioden 500-900, den islamiske kultur 700-1200, og fra genoptagelsen af matematisk virksomhed i Europa efter 1200. Disse kulturers frembringelse af ny matematik, hvad enten den havde praktiske eller teoretiske kilder, udfoldedes til dagligdags anvendelse—blev til teknologi—fra og med renæssancen. På den måde er der tale om et eksempel på at "fortidens videnskab blev til fremtidens praksis". Denne "forsinkelses"effekt er i øvrigt meget typisk for nyttiggørelsen af netop nye matematiske

frembringelser. Det forholder sig ligesådan med den matematik der udvikledes i og efter renæssancen. De samfundsmæssigt/teknologisk vigtige anvendelser af den kom først for alvor til veje fra og med 1800-tallets begyndelse.

Mens altså oldtidens og middelalderens matematik—og for resten også astronomi—fik vigtige anvendelsesmæssige konsekvenser i renæssancen, var situationen i fysikken en anden. Det var ikke fortidens teoretiske fysiske erkendelser der betingede den materielle teknologi, hverken før eller i renæssancen.

10. Konklusion

Vi er nu rede til at bringe konklusionen af undersøgelsen af uafhængighedsdoktrinens gyldighed for perioden 1550-1750. Vi kan samle konklusionen i et sæt pointer:

I. Hovedparten af periodens materielle teknologi er udviklet uden væsentlig baggrund i teoretisk fysik og astronomi. Og omvendt: De teoretiske landvindinger der sker inden for fysik og astronomi i perioden—landvindinger der markerer et principielt brud med de forudgående perioders betragtningsmåder og resultater—kommer først for alvor til anvendt udfoldelse fra og med 1800-tallets begyndelse.

II. En væsentlig del af periodens materielle teknologi opstår og udvikles uden forbindelse med videnskab i det hele taget, ny eller gammel. Dens kilder


er praktiske menneskers virksomhed, erfaringer og opfindsomhed, og dens udviklingsgang er præget af sej kontinuitet.

III. *Nogen materiel teknologi i perioden er udviklet med direkte støtte i eksperimentel fysik, eller med indirekte støtte i dens apparatur- og instrumentbehov, som åbnede muligheder og gav teknologisk udvikling på helt andre områder.*

IV. *En væsentlig del af periodens materielle teknologi er frembragt i intim forbindelse med udviklingen i kemi, mineralogi, metallurgi, biologi og medicin. På disse områder lader de praktiske og de teoretiske sider af virksomheden sig ikke skille ad. Der sker heller ikke noget principielt brud med forudgående perioders forestillinger og resultater. Tværtimod er der tale om en stadig videreudbygning af og tilvækst til dem.*

V. *Væsentlige dele af periodens immaterielle teknologi er udviklet med baggrund i eller støtte fra matematik (hovedsagelig frembragt i tidligere perioder og kulturer), til dels også fra teoretisk, observationel eller eksperimentel astronomi og fysik.*

Taget med passende forbehold kan disse pointer koncentreres i dette skema:

har betydning for: 	materiel teknologi	immateriel teknologi
<i>teoretisk fysik og astronomi</i>	-	+
matematik	-	+
<i>eksperimentel fysik og astronomi</i>	+	+
kemi og biologi	+	-

Også en pointe af mere almen art lader sig udlede af det her fremlagte materiale:

Den udbredte forestilling om naturvidenskaben som *ét* system, der i filosofisk, teoretisk, metodologisk, institutionel, organisatorisk og samfundsmæssig henseende er homogent og sammenhængende, er i vid udstrækning misvisende. Det er langt mere frugtbart at operere med en skare af forskellige naturvidenskaber. Selv om der naturligvis *er* mange lighedspunkter mellem dem, er forskellene på mange måder væsentligere og mere betydningsfulde end lighederne.

11. Efterskrift

Jeg skylder at understrege at det materiale denne artikel bygger på ikke er primærkilder, men videnskabs- og teknologihistoriske synteser eller samleværker, opført i nedenstående litteraturliste. Nogle af de betragtninger jeg fremsætter kan findes i værker fra litteraturlisten, hvorfor jeg naturligvis ikke gør krav på ophavsretten til dem. Mit ærinde har været at opsøge, sammenstille og afveje kendsgerninger, analyser og betragtninger som kan belyse samspils- og påvirkningsforholdene mellem naturvidenskab, teknologi og samfund, her altså i den videnskabelige revolutions århundreder, men i grunden med den hensigt at forstå disse forhold som de tager sig ud i vor egen tid.

Der er altså ikke tale om original videnskabs- eller teknologihistorisk forskning af klassisk type, hvor nyt materiale fremdrages og endevendes, men om en bestræbelse på at undersøge en bestemt problemstilling på det grundlag andres forskning har givet. Hvis artiklen indeholder noget originalt er det i selve analysen: i kombinationen af de ingredienser den bygger på, de synsvinkler den anlægger og de konklusioner den drager.

Mogens Niss, november 1987

LITTERATUR

- Bernal, J.D.: *Science in History*, vol 1-4 (3rd. ed.). Harmondsworth: Penguin / C.A. Watts 1969 (1965).
- Boyer, Carl B.: *A History of Mathematics*. New York: John Wiley and Sons, 1968.
- Butterfield, H.: *Den naturvidenskabelige revolution. Den moderne naturvidenskabs oprindelse 1300-1800*. København: Rosenkilde og Bagger, 1964 (eng. org. 1957).
- A General History of the Sciences* (ed. R. Taton). Vol II (af fire): *The Beginnings of Modern Science, from 1450 to 1800*. London: Thames and Hudson, 1964 (fr. org. 1958).
- Hall, A.R.: *The revolution in science 1500-1750*. London: Longmans, 1983 (opr. udgave: *The Scientific Revolution*, 1954).
- A History of Technology* (eds. C. Singer, E.J. Holmyard, A.R. Hall, T.J. Williams). Vol III: *From the Renaissance to the Industrial Revolution, c.1500-c.1750*. Oxford: Oxford University Press, 1969 (1957).
- A History of Technology and Innovation* (ed. M. Daumas). Vol II (af tre): *The First Stages of Mechanisation*. New York: Crown Publ., 1969 (fr. org. 1964).
- Kline, Morris: *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*. New York: Oxford University Press, 1972.
- Lilley, S.: *Men, Machines and History*. London: Lawrence and Wishart, 1965.
- Mumford, Lewis: *Technics and Civilization*. New York and Burlingame: Harcourt, Brace and World, 1962 (1934).
- Niss, Mogens: "De to kulturer". *Naturkampen* nr. 42, dec. 1986 (København).
- Niss, Mogens: "Matematikkens udvikling op til renæssancen". *Tekster fra IMFUFA* nr. 115, 1985 (RUC).
- Science and Society 1600-1900* (ed. P. Mathias). Cambridge: Cambridge University Press, 1972.

Jens Høyrup

Matematik og krig

Om krigens og de militære behovs indflydelse på de matematiske videnskabers udvikling. Historiske og videnskabssociologiske undersøgelser og overvejelser

I. Indledning

I hele efterkrigstiden har udviklingen af nye våbentechnologier og nye militære strategier bygget på højt-formaliserede (i praksis altså matematiserede) naturvidenskaber og direkte på matematiske modeller og beregninger. Af den grund fremføres det ofte blandt selvkritiske forskere, at naturvidenskaberne, herunder matematikken, er gennemkorrumperede—mens repræsentanter for de mindre selvkritiske miljøer beder om lov til at »skelne mellem ilden og mordbrænderen«.

Hvis man vil forstå den moderne videnskabs og tekniks sociale og moralske situation er det vigtigt at man får spredt den moraliserende tåge og finder ud af *i hvilken forstand* man kan forstå den videnskabelige og tekniske viden som et neutralt instrument, *og i hvilken ikke. I hvilken forstand* står forskere og teknologer som mordbrændere foran et brændende hus? Det forsøger det følgende at give svar på. Hvis man i bredere almindelighed vil forstå sammenhængen mellem teknologi og videnskabsudvikling er militærteknologien og dens forhold til videnskaben også et godt grundlag for undersøgelsen, fordi krigen som samfundets yderste anstrengelse sætter tingene på spidsen. Også dette mere åbne spørgsmål belyses i en kombination af historisk, videnskabssociologisk og erkendelsesteoretisk argumentation, med hovedvægt på de tekniske problemers indvirkning på videnskaben.

Artiklen er et sammendrag af en undersøgelse af emnet der tidligere er offentliggjort på tysk, med inddragelse af materiale fra en endnu ufærdig og upubliceret engelsksproget udgave¹.

¹ Booß & Høyrup 1984. Bernhelm Booß kan altså regnes for implicit medforfatter til det følgende. Meget af hvad der siges dér bygger på hans detaljerede og samtidig brede kendskab til den moderne matematik. Det siger sig selv at jeg alene bærer ansvaret såvel for de fejl der måtte have sneget sig ind i min engelsksprogede nybearbejdning af stoffet, som for den nærværende version af vort fælles arbejde.

Alle oversættelser til dansk er, hvis intet andet oplyses, mine.

II. Historiske eksempler

Forskellige verdenshistoriske eksempler kunne synes at vise at krigen altid har været en hoveddrivkraft i videnskabens udvikling, således som det bl. a. er blevet hævdet af Bernal².

»Allerede de gamle babyloniere« havde hvad Neugebauer³ kalder deres »belejringsregning«. Belejringsregningen viser sig dog for en nøjere undersøgelse blot at være ét blandt flere anvendelsesområder for de samme beregningsteknikker—mursten er mursten, og jordrumfang er jordrumfang, uanset om der graves vandingskanaler, bygges templer eller anlægges belejringsramper. Der findes i Babylon hverken særlige militært inspirerede matematiske teknikker eller nogen samlet krigerisk prægning af matematikken.

Også oldtidens grækere vidste at matematik effektiviserer krigsførelsen. I *Staten* påpeger Sokrates at en feltherre har brug for både aritmetik og geometri for at stille sine tropper op⁴. »Lænestolstaktikere« argumenterede endda for at deres hobby, den militære taktik, måtte være en matematisk disciplin, fordi matematikken viser at en hær syner mere når den stilles op i linie end når den formeres i udfyldt cirkel. Men som matematikeren og matematikhistorikeren Geminus allerede dengang sagde i sin diskussion af synspunktet drejede det sig kun om anvendelsen af allerede eksisterende

² »Videnskab og krig har altid hængt intimt sammen; faktisk kan man, hvis man undtager en del af det 19. århundrede, med god ret hævde at flertallet af væsentlige tekniske og videnskabelige fremskridt har deres oprindelse i hærens eller krigsflådens behov« (Bernal 1939: 165).

³ F. eks. Neugebauer 1933.

⁴ Platon, *Staten* 525b og 526c-d, i Shorey 1978: II, 160ff og 166ff.

matematisk viden⁵.

Den systematiske udvikling af militære teknologier i Alexandria⁶ må tages alvorligere. Her blev samtidens mekaniske og elementærmatematiske viden syntetiseret til et *nyt* vidensfelt. Man kan også opfatte visse af Alexandrineren Herons arbejder som forsøg på at forbedre gængs praksis ved udviklingen af en »praktisk matematik« som del af den samlede matematik⁷.

Middelalderens islamiske kulturkreds overtog dette kompleks af anvendt matematik og (bl. a. militært) inspireret teknik og gav det i bearbejdet form videre til senrenæssancens Europa. I den vesteuropæiske middelalder havde matematikken derimod kun været et *dannelsesfag*, uden betydning for krigens teknik og selv uden for militær indflydelse. Først i renæssancen genfinder vi, hurtigt på et langt højere plan, den gammelkendte alexandrinske syntese mellem teoretisk betragtede teknologier og anvendt matematik: Arkitektur; perspektivteori og malerkunst; ballistik og artilleri; kartografi; bogføring; købmandsregning og algebra. Vi finder også en høj vurdering af matematikkens muligheder i enhver praksis—undertiden en fantastisk overvurdering. Overvurdering var der nok tale om hos Tartaglia, da han længe holdt sin nye (forkerte) ballistiske teori skjult for ikke at bidrage til »udryddelsen af menneskeslægten, især af de kristne i deres evige krige«⁸. Helt utvivlsom er overvurderingen i den lærde magis

⁵ Geminus, *Fragment om de matematiske videnskaber*, ed. Aujac 1975: 114, jfr. kommentar s. 163.

⁶ Beskrevet i Gille 1980.

⁷ Se indledningsparagrafferne i hans *Metrika* og *Dioptra*, ed. Schöne 1903. *Dioptra*-indledningens kapitel ii beskriver først instrumentets nytte i landmåling i almindelighed, og dernæst den særlige gavn det kan gøre når en del af terrænet er besat af fjenden eller er utilgængeligt af andre grunde; til sidst påpeges det at man med diopterens hjælp kan forebygge det ofte indtrufne uheld at belejringstårne og -stiger bygges for korte.

⁸ Efter engelsk oversættelse af *Novæ scientia* i Drake & Drabkin 1969: 68.

tro på beherskelse både natur og engle ved hjælp af tal- og figursymbolik⁹. Vores moderne skepsis over for numerologien og den magiske geometri kan tages som en formaning om også at overveje samtidens tro på matematikkens effektivitet i andre, egentlige teknologier.

Når det gælder *matematikkens egen* udvikling er det dog mindre væsentligt om den høje vurdering undertiden var en overvurdering. Vigtigst var selve troen på matematikkens effektivitet i videnskab og teknik. Der har været ført mange videnskabshistoriske diskussioner om præcis hvilken og hvor stor en rolle praktiske behov og anvendelser spillede i tiden fra 1400 til 1780. Ingen benægter dog at praksis *har* spillet en rolle for videnskabernes, herunder matematikkens, udvikling. I samme omfang som krigsførelsen var en del af renæssancens bevidste samfundsmæssige praksis spillede den derfor også *sin* rolle for videnskabernes og matematikkens udvikling.

Denne diffuse vekselvirkning mellem den samlede samfundsmæssige praksis og det samlede netværk af mere eller mindre matematiserede videnskaber fortsatte ud over renæssancen og gør sig stadig gældende; jeg skal ikke diskutere den yderligere her. I tiden fra renæssancen til den franske revolution kan der dog også peges på adskillige tilfælde af militært begrundet målbevidst fremme af videnskaben og specielt af matematikken.

Et første eksempel er den systematiske samling og udvikling af navigationsrelevant matematisk viden ved Henrik Søfarerens portugisiske hof i det 15. århundrede¹⁰. Horst-Eckart Gross konkluderer efter sin redegørelse for foretagendet at

⁹ Se Shumaker 1972.

¹⁰ En kort skildring i bredere teoretisk perspektiv findes i H.-E. Gross 1978: 246-48. Fyldigere men snævrere diskussioner er Beaujouan 1966 og Waters 1976.

hvadenten nu Portugals stramme hemmeligholdelsespolitik bidrog til at kommunikation med Europas øvrige videnskabelige centre udeblev til skade for matematikken, eller alene den for snævre indretning efter praksis førte til at man beskæftigede sig med de matematiske problemer som man havde brug for at løse her og nu, og matematikken som hele derfor ikke fik lov til at udvikle sig; i hvert fald står det fast at denne ansats til en tæt kobling af matematikken til praksis trods gunstige betingelser ikke udløste eller muliggjorde nogen bemærkelsesværdig stimulering af matematikkens udvikling.¹¹

Den engelske oversøiske ekspansion byggede som den portugisiske i sin planlægningsfase på målrettet indsamling, udvikling og (selektiv¹²) formidling af videnskabelige kundskaber—ikke kun om matematisk navigation som i Portugal, men af alsidig viden. Det viste sig i den Elisabethanske periode og afspejles i Francis Bacons universalvidenskabelige program. Matematikere som Harriot deltog i sørejserne; det gjorde imidlertid også botanikere og mange andre lærde, og Harriots opgave i 1585 omfattede ud over kortlægning af Virginias kystlinie også etnografisk redegørelse for indbyggernes kultur og sprog¹³.

Den encyklopædiske Elisabethanske strategi genfinder man i ideerne bag det engelske Royal Society og det 17. og 18. århundredes forskellige statslige videnskabelige akademier. De havde til formål at sørge for systematisk frembringelse af videnskabelig viden—til styrkelse af stat og økonomi. Ét af de anvendte midler var udskrivelsen af prisopgaver, der

¹¹ *Op. cit.* p. 248. Det kan allerede nu bemærkes at Horst-Eckart Gross's bemærkning har noget væsentligt at sige om nutidens krigsforskning.

¹² Det er karakteristisk at John Dee, den Elisabethanske epokes mest fremtrædende »matematiker-troldmand«, publicerede løs om sine okkulte »hemmeligheder« men »planmæssigt holdt sine afhandlinger om navigation og navigationsinstrumenter på manuskriptniveau« (J. B. Easton 1971: 5 [DSB IV]).

¹³ J. A. Lohne 1972: 124 [DSB VI]; cf. Boas 1970: 191.

hyppigt forlangte matematiske svar på spørgsmål af teknisk interesse¹⁴. Da statens styrke var militært defineret og priserne kunne være på højde med en professors årsløn blev akademierne på denne måde effektive formidlere af militære behov over for videnskaben.

Direkte bestillingsforskning fandt også sted. »Hookes lov« blev formodentlig fundet som teoretisk »spin-off« fra elasticitsundersøgelser foretaget på Royal Society's initiativ¹⁵. Hooke fik opgaven, fordi krigsflåden ønskede at spare på tømmeret til skibsbygning.

Til sidst bør officersuddannelsen nævnes (noget tilsvarende kunne berettes om uddannelsen af handels- og krigsflådernes søofficerer). I den meste litteratur fra det 17. og 18. århundrede hvor militære spørgsmål bliver berørt bliver matematikkens store betydning fremhævet. Den officer der lærer sit håndværk lærer matematik¹⁶. Men hvilken matematik, og til hvad brug?

To discipliner står i centrum. Den ene er fortifikationsregningen, der gik ud på at optimere det 17. og 18. århundredes komplicerede, mange-kantede fæstningsanlæg under hensyn til det befæstede objekts geografi og til det tilgængelige skyts¹⁷. Det skete ved hjælp af matematiske tabeller

¹⁴ Således bad det franske Académie des Sciences i 1727 om beregning af hvor masterne mest effektivt kunne placeres på et sejlskib—en opgave som den 16-årige Euler besvarede uden dog at vinde førsteprisen. Se Youschkevitch 1971: 468. [DSB IV].

¹⁵ Se Merton 1970: 178f.

¹⁶ Tilsvarende fortæller Defoe om Robinson Crusoes sømandsuddannelse kun, at han på sin første sørejse »lærte at beregne et fartøjs kurs og tage en observation og blev sat ind i andre ting som en sømand må kende til«. Senere, da han er kommet til øen fortæller Robinson om den matematiske videnskab, at da den »hviler på den sunde fornuft, så må ethvert menneske, ved fornuftigt at beregne og afpasse alt, med tiden kunne komme så vidt, at han opnår dygtighed i enhver mekanisk kunst, han lægger sig efter« (Defoe 1975: 17, 62, overs. Harriet Openheim).

¹⁷ Se Schneider 1970: 223-227.

og blev doceret på officersskolerne, først og fremmest på de franske Écoles d'artillerie.

Den anden disciplin, den som gav artilleriskolerne deres navn, er ballistik, bygget på Galileis parabelteori¹⁸. Også her forudsatte beregningerne brug af omfangsrige matematiske tabeller, bl. a. fordi projektilets hastighed som funktion af krudtmængden var ukendt (selv under antagelse af ens projektiler). I slutningen af det 18. århundrede blev også differential- og integralregning inddraget i undervisningen for i princippet at muliggøre hensyntagen til luftmodstand—»i princippet« kun, fordi prisen for at opnå differentiaalligninger der kunne løses var antagelsen af en forkert teori.

For både fortifikation og ballistik var et bredt kendskab til geodæsi og (afledt heraf) til trigonometri, logaritmer og analog-regneinstrumenter uundværligt.

III. Hvad fortæller eksemplerne?

Vi så at der i den alexandrinske antik fandt en vekselvirkning sted mellem matematik og militærteknisk udvikling. Men hvor betydningsfuld var den? Herons *Metrika* kommer trods alt, både når det gælder betydning for den antikke matematiks egen udvikling og dens selvopfattelse og især hvis vi tænker på dens videre videnskabelige og tekniske betydning, langt efter Eudoxos, Euklid, Archimedes, Apollonios, Ptolemaios og Diophant.

Noget tilsvarende gælder i renæssancen. Af de mange grene af den anvendte matematik der voksede frem her blev kun algebraen af afgørende

¹⁸ Se Charbonnier 1927: 1018-1040; og Schneider 1970: 222f.

betydning for matematikkens samlede videnskabelige fremskridt og tekniske produktivitet.

På grænsen mellem renæssance og moderne tid (og på grænsen mellem matematik og mekanik) finder vi Galileis arbejde i *Discorsi* med faldproblemer og materialestyrke. Mens algebraen *ingen* forbindelse havde med militære problemstillinger *har* Galileis arbejder en almen, men normalt netop også kun en *almen* forbindelse med fysisk-teknologisk praksis. I sin omtale af ildvåben siger han udtrykkelig at hans ballistiske teori kun er anvendelig for morterer, fordi luftmodstanden ved andre former for skyts er for stor¹⁹.

Det illustrerer et alment forhold: Den eventuelle indvirkning af et praktisk enkeltspørgsmål på matematikkens udvikling er tilfældig i forhold til fagets samlede bygning²⁰. Spørgsmålets løsning kan tænkes at være ganske perifer, som tilfældet var med Herons *Dioptra*; eller den kan blive udgangspunkt for grundlæggende nye gennembrud (som algebraen). Alle mellemtrin er naturligvis også mulige.

Den militære praksis præsenterer undertiden videnskaben direkte for sine udfordringer. Lige så hyppigt eller hyppigere sker det dog indirekte, som i tilfældet Galilei. Praktiske anledninger til videnskabelig udvikling virker ikke anderledes, blot fordi den pågældende praksis også finder militær anvendelse. Dertil kommer at både videnskab og praksis snarere må beskrives som netværk end som lineære årsagskæder. Betragter man Galilei's *Discorsi* ser man hurtigt, at Euklid og Archimedes og opgøret med den middelalderlige bevægelsesteori var lige så vigtige for Galilei som

¹⁹ *Discorsi*, 4. dag, teorem I; overs. Crew og Salvio 1914: 256.

²⁰ Denne observation forringer ikke betydningen af den samlede samfundsmæssige praksis som betingelse og energikilde for matematikken som særlig praksis. Dette spørgsmål diskuteres udførligt nedenfor.

praktisk forekommende faldproblemer.

Jo bredere et praksisfelt er, des større er sandsynligheden for at det fremkalder en bred, sammenhængende videnskabelig udvikling (skoleeksemplet er senmiddelalderens og renæssancens købmandsmatematik og deres forhold til algebraen). Jo mere punktuel problemet er, des større er chancen for at det (hvis det ikke er tilbagevendende) finder en isoleret ad-hoc løsning—eller, hvis ingen sådan lader sig konstruere, for at det lægges til side som uløseligt.

Vi kan betragte udviklingen fra renæssancen til den franske revolution i dette lys. Den portugisiske navigationsvidenskab blev allerede ovenfor beskrevet som *punktuelt og dermed ufrugtbar*. Faktisk må man også i det videre historiske forløb karakterisere kartografi og navigationsvidenskab som i det store hele ufrugtbare *for matematikken*, idet de kun byggede på allerede eksisterende matematisk viden. Dog er navigationen én af drivkræfterne bag udviklingen af nye beregningsteknikker, først og fremmest logaritmerne. Desuden forudsatte længdegradsbestemmelse udviklingen af en præcis tidsmåling uafhængig af iagttagers position. Det kunne man få ved at opfinde pålidelige kronometre eller ved at udvikle en korrekt teori for månens bevægelser. Begge problemer var centrale for udviklingen af den teoretiske mekanik i det 17. og 18. århundrede, f. eks. for Huygens cykloide-pendul-teori, for Newtons planetære mekanik og for den videre udarbejdelse af Newtons teori²¹.

Som nævnt formulerede videnskabsakademierne i det 17. og især i det 18. århundrede mange praktiske problemer som prisopgaver. Derved blev de oversat i et sprog der gjorde dem tilgængelige for tidens videnskab (og

²¹ Jfr. f. eks. S. F. Mason 1962: 270f.

formidlet som interessante for tidens lærde), og derved blev de også frugtbare.

Endnu engang viser det sig imidlertid at militær praksis ikke indtog nogen særstilling («skibsbygning er skibsbygning»), og at videnskabens egen indre struktur og formåen var afgørende for hvad der kunne udvikle sig—og hvad ikke. Der kom ingen matematik ud af Hookes undersøgelse af det dengang ikke matematiserbare spørgsmål, på hvilken årstid tømmet til skibsbygning bør fældes, men kun af den matematiserbare sammenhæng mellem belastning og bøjning. *Frugtbar* blev Hookes lov endda først da den indgik i den samlede Newtonske mekanik. Netop derfor var de videnskabeligt kompetente akademiers formidling og oversættelse af praktiske behov så væsentlig.

Officersmatematik var anvendelse af velbekendt viden. Den havde betydning ved at sprede matematiske færdigheder bredt—proportionalt med officerernes (betragtelige!) samfundsmæssige betydning. Ny teoretisk viden eller nye metoder førte den ikke til før Monge (jfr. nedenfor).

IV. Det 19. århundrede: Forspil og mellemspill

Det 19. århundrede begynder i mange henseender med den franske revolution—således også når det gælder forholdet mellem praksis og videnskabelig teori. Ingeniøruddannelsen på École Polytechnique indvarsler noget helt nyt. Ingeniøren i moderne forstand, den videnskabeligt uddannede praktiker, finder vi ikke tidligere. Hans forgængere i det 17. og 18. århundrede var de (snarest håndværksmæssigt uddannede) »matema-

tiske praktikere»²² og officererne. På École Polytechnique, der grundlagdes i 1794 som civil institution og overførtes til krigsministeriet i 1804, gennemgik kommende militæringenører (der ofte senere i livet blev embedsmandsansatte civile ingeniører) en toårig matematisk-videnskabelig grunduddannelse, før de specialiserede sig videre på andre ingeniørskoler.

École Polytechnique var en institutionel materialisering af én af revolutionens bærende ideer, nemlig at uddannelse og videnskab var grundlaget for ethvert samfundsmæssigt fremskridt. Den ide havde sin rod dels i oplysningstidens utopisk-rationalistiske tænkning, dels i borgerskabets nøgterne strategier i kampen om den samfundsmæssige hegemoni; på baggrund af Napoleonskrigene, der for første gang i historien tilstræbte den totale mobilisering af samfundets ressourcer, gled ideen om samfundslivets videnskabeliggørelse naturligt over i en videnskabeliggørelse af krigsførelsen. Et symptom på denne videnskabeliggørelse af krigen (og på »militariseringen« af rationalismen og den borgerlige fornuft) var den omtalte overførsel af École Polytechnique til krigsministeriet. Den var imidlertid netop kun et symptom på en almen tendens, som blev principielt formuleret af Clausewitz²³; som slog afgørende igennem i det 19. århundredes præjiske systematiske stabsplanlægning (der på det nærmeste behandlede kommende krige som en ingeniøropgave²⁴); og som i dag er et bærende element i alle stormagters strategiske tænkning (som, hvis den virkelig anvendes i fuldt omfang og fuld konsekvens, indebærer erkendelse

²² Sml. Schneider 1970.

²³ Diderots store *Encyclopédie* havde ment at *krig er ufornuft* (»Krig er en frugt af menneskets fordærvelse; det er en konvulsivisk og voldsom sygdom i det politiske legeme«—ed. Soboul 1976: 176). Clausewitz, der var alt andet end sympatisk indstillet over for revolutionens mål, havde lært af Napoleons krigsførelse at krig skal *føres med størst mulig fornuft*, som middel for et politisk formål; det er en bærende pointe i hans *Vom Kriege*. Med Weber kunne man tale om et omslag fra værdi- til målrationalitet.

²⁴ Se Addington 1984: 45-49.

af at krig *ikke længere* i atomalderen kan tjene politikken som rationelt middel, men som i sin konventionelle indskrænkede anvendelse kan føre direkte ud i den endelige tilintetgørelse).

École Polytechnique er altså et varsel ikke blot når det gælder ingeniørernes sejrsmarch. I det tidlige 19. århundrede var tiden dog ikke moden til virkelig at praktisere de ideer som skolen var udtryk for. »Tiden« vil sige samfundsordenen, produktivkræfternes udvikling, og videnskabens eget stade. Tilfældet Gaspard Monge kan siges at være kendetegnende for nybruddets modsætningsfyldte karakter²⁵. I det 18. århundrede havde han som lærer på artilleriskolen i Mézière udviklet sin deskriptive geometri, der erstattede fortifikationsmatematikens besværlige talregninger med elegante geometriske konstruktioner; den vogtedes følgelig som militær hemmelighed, og må i det 18. århundredes kontekst betragtes som tilfældigt skønt væsentligt spin-off fra officersmatematikken. I den tidlige École Polytechniques organisatoriske og åndelige sammenhæng blev den til noget helt andet: En af undervisningens bærende discipliner, med hvilken de fremtidige ingeniører og dermed også mange kommende matematikere blev præget.—Og dog kom der i sidste ende intet *virkeligt* nyt ud af tilfældet Monge. Efter 10-20 års restauration blev den snævre vekselvirkning mellem matematisk grundforskning og anvendelser fortrængt fra École Polytechnique. Ud af den deskriptive geometri kom der (ud over en temmelig isoleret omend uundværlig teknisk hjælpedisciplin) i sidste ende tilfældigt skønt epokegørende *rent-matematisk* spin-off: Først og fremmest den projektive geometri, hvis grundlag blev skabt af polyteknikeren Poncelet i russisk krigsfangenskab. Alt i alt altså en vekselvirkning mellem matematisk teori og samfundsmæssig praksis af temmelig traditionelt-tilfældig karakter.

²⁵ Se A. Wolf 1952: 59f; og Loria i M. Cantor 1908: 626ff.

Det virkeligt nye i det 19. århundrede skal findes på andre planer. Først og fremmest udvikledes betingelserne for det 20. århundredes videnskabeligt-teknologiske revolution: Den fulde udfoldelse af det industrielt-kapitalistiske samfund og den moderne stat; en industri der var i stand til at udnytte de videnskabeligt uddannede ingeniører, d.v.s. den til enhver tid aktuelle videnskab; videnskaben selv forstået som *systematisk forskningsvirksomhed*, knyttet til universiteter, tekniske læreanstalter og andre højere uddannelsesinstitutioner; samt en modning af den matematiske, fysiske og kemiske erkendelse der gjorde disse videnskaber direkte industrielt-anvendelige. Forudsætninger for denne modning var, ud over en uhyre tilvækst i omfang, en fuldstændig nyorganisering af de videnskabelige kundskaber og en vidtgående arbejdsdeling. Således var det først i det tidlige 19. århundrede at *fysikken* opstod som ét sammenhængende vidensfelt; i de nærmest-følgende årtier fulgte ingeniørvidenskaberne²⁶ og den begrebsmæssige og institutionelle adskillelse af ren og anvendt matematik²⁷.

Den snævre sammenknytning af matematik og militær som École Polytechnique syntes at indvarsle blev i første omgang til ingenting. Militære behov spillede det 19. århundrede igennem stort set kun en indirekte rolle for matematikken, formidlet gennem industrien og hvad den måtte have af almene fordringer på matematisk problemløsning.

²⁶ Se f. eks. D. F. Channell 1982.

²⁷ Begrebsmæssig adskillelse kombineret med forsøg på at opretholde institutionel enhed ser man i de tidligste matematiske specialtidsskrifters titler. Det første blev grundlagt af Gergonne i 1810 og bar navnet *Annales de mathématiques pures et appliquées*. Dernæst fulgte i 1826 Crelle's *Journal für die reine und angewandte Mathematik* og i 1836 Liouville's *Journal de mathématiques pures et appliquées*, der begge lever endnu. At den institutionelle enhed ikke lod sig opretholde ses af det kælenavn som Crelle's tidsskrift hurtigt gjorde sig fortjent til: *Journal für die reine, unangewandte Mathematik* (Klein 1926: I, 95).

V. Fra verdenskrig til verdenskrig

»Den moderne krig er verdenskrigen. Vi har haft to verdenskrige. Den første blev udkæmpet med gammeldags våben, men var alligevel en krig af helt ny karakter. Det var en krig, i hvilken alle verdens førende magter var indblandet. Den gjaldt en verdensomspændende fordeling og omfordeling af indflydelses-sfærer og de førende imperialistiske magters indbyrdes rangordning. Den blev ført på alle verdens fronter. Kort sagt, den var en total krig. Den var netop ikke kun en militær kraftprøve på slagmarken men også en kraftprøve mellem de krigsførende landes samlede produktionskapacitet, hvor ikke mindst disse landes politiske og sociale sammenhængskraft blev sat på prøve. Derfor rettede denne krig sig fra alle sider mod modstanderens samfund, såvel mod hans samfundsmæssige sammenhold og mod reproduktionen af hans samfundsmæssige liv som mod hele hans samfundsorden«²⁸.

Under den videnskabeligt-teknologiske revolution, og allerede under dens tidlige år er og var videnskaben en del af samfundets »samlede produktionskapacitet«. Det ytrede sig i forskernes rolle i krigsførelsen under 1. verdenskrig.

Forskerne, skønt sjældent grundvidenskaben selv, blev indlemmet i krigsmaskinen; de fungerede som teknisk personale af første rang. Mere systematisk end nogensinde før blev det forsøgt at drive videnskabeligt funderet udviklingsarbejde i stor målestok, under inddragelse af grundvidenskabens højeste aktuelle niveau som den blev båret af grundforskerne selv. De vigtigste felter her var kemien og metallurgien, mens de fysiske videnskaber var mere perifere. Matematikken kom kun i betragtning som

²⁸ I. M. Jarvad 1981: 6.

hjælpedisciplin, som »anvendt matematik«²⁹. At ingeniørtropper som altid havde brug for matematik er uvigtigt i vores sammenhæng; som i det 18. århundrede (og for den sags skyld hos babylonierne) drejede det sig kun om anvendelse af forhåndenværende viden.

På denne baggrund kunne pacifisten Hardy i 1915 give et underforstået forsvar for sit eget arbejde med den »rene« talteori i sin berømte kommentar til andre videnskabers krigstjeneste (og betjening af den industrielle kapitalisme): »en videnskab siges at være nyttig hvis dens udvikling tenderer til at øge eksisterende uligheder i velstandsfordelingen, eller mere direkte fremmer ødelæggelsen af menneskeliv«³⁰.

Efter 1. verdenskrig blev forsøgene på i stor skala at organisere videnskabeligt funderet udviklingsarbejde igen skridtvis afmonteret³¹; den videnskabeligt-teknologiske revolution var endnu så ung, at samfundet (og specielt den private industri) kun under den totale krigs tryk ville indlade

²⁹ H.-E. Gross anfører dog, at matematikere »i betragtelig målestok« deltog i udviklingen af aerodynamikken (en baggrundsvidenskab for flyvemaskinekonstruktionen), hvorfra der *måske* »kan være udgået impulser til udviklingen af matematikken« (privat brev). Ved de sejrende magters i øvrigt uhyggeligt chauvinistiske matematikerkongres i 1920 i Strasbourg (Straßburg til 1918!) udtrykte Émile Picard i sit åbningsforedrag også frygt for at de sidste års erfaringer ville få den nye matematikergeneration til alene at hellige sig anvendelserne på den rene matematiks bekostning (*Proc...* 1920: xxxiif); om ikke matematikken som vidensbygning var altså i hvert fald matematikken som socialt miljø blevet stærkt præget af den netop overståede krig for en tid (ved den næste kongres i Toronto i 1924 havde virkningen dog allerede stort set fortaget sig).

³⁰ Citeret fra Hardy 1967: 120. Først 20 år senere, i optakten til 2. verdenskrig, og dermed trods alt stadig i Hardy's levetid, blev hans kære analytiske talteori i hemmelighed brugt som redskab for kodning, kodebrydning og efterretningsarbejde, og dermed altså »nyttig«; havde han vidst det, havde Hardy antagelig båret skuffelsen; han var antifascist fuldt så vel som pacifist, og hans moralske engagement gjaldt mennesker og ikke matematikken.

³¹ Det engelske forløb skildres i Rose & Rose 1970: 40-46, og det amerikanske i Kevles 1978: 148-154. Tysklands særlige situation efter nederlag og blokade gjorde naturligvis, at der her blev tale om sammenbrud snarere end afmontering.

sig på noget sådant. Først den nazistiske stats og de tyske kemikoncerners samarbejde om systematisk udforskning af erstatningsråstoffer, 30'ernes ekspanderende private industriforskning i USA og den sovjetiske femårs-planlægning bragte igen en systematisk sammenknytning mellem videnskabelig forskning og produktiv praksis i stand, og gjorde videnskaben til »umiddelbar produktivkraft«. Virkelig alvor blev det altsammen først med 2. verdenskrig.

Fra den 1. verdenskrigs erfaringer vidste man jo, at videnskaben også kan være *umiddelbar destruktivkraft*. Ifølge en udbredt anekdote havde den amerikanske krigsminister under den forrige krig afslået et tilbud om assistance fra American Chemical Society med den begrundelse at »det var unødvendigt; han havde undersøgt sagen og fundet ud af at krigsministeriet allerede rådede over en kemiker«³². Den bommert ville intet krigsministerium gentage med sin gode vilje, så forskerne blev nok sat til andet arbejde i laboratorierne men ikke sendt til fronten.

Det kendteste af alle 2. verdenskrigs videnskabelige projekter er »Manhattan-projektet«, udviklingen af atombomben³³. Dette projekt var intet rent udviklingsprojekt; formålet lå så langt hinsides det kendte at også omfattende og målrettet grundforskning var nødvendig. Omkring 150 000 medarbejdere arbejdede på projektet; et stort antal grundforskere fra de forskellige videnskaber såvel som statsligt og privat ansatte udviklingsingeniører blev inddraget. Det er blevet skønnet at det samlede budget var af størrelsesorden som den hidtidige verdenshistories samlede udgifter til videnskab og videnskabeligt udviklingsarbejde.

³² James B. Conant, citeret efter Greenberg 1969: 89. Det skal bemærkes at den tyske Wehrmacht var lige ved at gentage historien i 1939, jfr. note 37 om Zuse.

³³ Se f. eks. Jungk 1958: 112-123; Kevles 1978: 324-333; Greenberg 1969: 117-125; samt *A History of Technology* VI, 226-276, *passim*.

Manhattanprojektet var det største men ikke det eneste projekt der inddrog grundforskning³⁴. Også radarens, penicillinens, jetmotorens og

³⁴ For fuldstændighedens skyld skal det bemærkes at der under 2. verdenskrig også blev foretaget systematisk matematisk udviklingsarbejde uden underlag i ny grundforskning, og at det bidrog nok så meget som de mere berømte projekter til udtalelser om at denne krig med næsten lige så stor ret kunne kaldes »matematikernes krig« som »fysikernes krig«—mens 1. verdenskrig havde været »kemikernes krig«. Marston Morse, skaber af den moderne variationsregning og daværende formand for American Mathematical Society, citerer formanden for det amerikanske National Academy of Sciences for dette synspunkt i en artikel om »matematikken og den maksimale videnskabelige indsats i total krig« (1943). Morse begrundet synspunktet med den moderne krigs »maskinkarakter«, der naturligvis forlanger ingeniørkvalifikationer, men herudover også »en ny, mere matematisk brug af maskiner«.

Mere matematiske anvendelser af teknologien forudsatte i mange tilfælde ingen forskningsmæssig nyudvikling af matematikken. Det erfarede de fleste af de amerikanske matematikere der blev sat ind i krigen, som J. Barkley Rosser (1982: 509f) har berettet:

»Jeg har skrevet til praktisk taget alle nulevende matematikere som arbejdede matematisk i krigssammenhæng (der er stadig næsten 200 af dem), og jeg bad om en beskrivelse af deres matematiske aktiviteter under krigen. Mange svarede ikke. Og mange af dem der svarede sagde at de egentlig ikke havde lavet matematik. Jeg fik et svar i én sætning fra en mand der sagde at han ikke lavede én linie der kunne publiceres. Hvis vi identificerer matematik med det der kan publiceres, så blev der ganske rigtigt ikke lavet ret meget matematik til brug i krigsindsatsen. Men uden nogle hundrede matematikeres ikke-publicerbare svar over en to-tre års periode ville krigen have kostet en hel del mere og have været mærkbart længere«.

Som det bliver klart af de derefter af Rosser fremførte eksempler var det krævede—ikke-publicerbare—den øvede matematikers common-sense og dertil knyttede overblik og rutine. Egentlig er der tale om en kreativ videreførelse på højere plan af belejringsregningens og officersmatematikens gamle traditioner.

Eksemplerne i Morses artikel ligger for de flestes vedkommende endnu tættere på officers- og underofficersmatematikens plan; af flådens reserveofficerer forlangtes således »hurtig og nøjagtig matematisk beregning«, »løsning af problemer i elementær algebra, plangeometri og plan trigonometri« sammen med kendskab til grundlæggende mekanisk fysik og »godt helbred og hård fysisk træning«. Krigen gav nemlig anledning til en erfaring af almen gyldighed for den videnskabeligt-teknologiske revolution: Fuld udnyttelse af de videnskabeliggjorte teknologier kræver vid udbredelse af videnskabelige kvalifikationer, herunder også af matematisk almindelse. »Navigationen af en flyvemaskine mellem Stillehavets øer er særdeles vanskeligt; man kan lide lige så store tab ved fejlnavigation som ved fjendtlig ild. Det er klart

raketteknikkens udvikling kan nævnes sammen med videreudviklingen af sonar, metallurgi o.s.v. Inden for matematikkens område kan især videreudvikling af hydrodynamikken udpeges sammen med bygningen af ENIAC, den første praktisk anvendelige elektronregnemaskine (oprindelig planlagt til ballistiske beregninger), og en række andre amerikanske computere baseret på telefonrelæer; den elektromagnetiske feltteori og netværksteorien som de blev videreudviklet i forbindelse med radarprojektet; den tyske ingeniør Zuses computere, der blev udviklet bl. a. til optimering af V1-rakettens vinger; udvikling af den moderne kodningsteori og bygningen af den engelske computer Colossi i den forbindelse; samt adskillige grene af operationsanalysen.

Mange af disse områder er af fundamental betydning for den moderne matematik. Man kan imidlertid spørge, i hvilket omfang og i hvilken forstand gennembruddene på disse områder virkelig er blevet skabt af krigen. Manhattan-projektet overtog således grundideerne bag den nødvendige beregning af eksplosionens forløb bl. a. fra astrofysikken, hvor Hopf og Wiener havde behandlet strålingsligevægten på en stjerneoverflade 10 år tidligere³⁵. Teorien om stokastiske processer stammer heller ikke oprindelig fra kernefysikkens forgreningsprocesser og diffusionsligningerne, men går tilbage til Markovs rent-matematiske forskning, som han alene havde eksemplificeret sprogvidenskabeligt, bl. a. ved analyser af tegn-rækkefølgen i Pushkin-digte³⁶. Den samtidige udvikling af computere i USA, England og Tyskland viser at de bærende ideer også på dette område

at vi behøver i titusindvis af navigatører. Er vore studenter i stand til at tage opgaven op?» (s. 52).

³⁵ Se Wiener 1964: 142f.

³⁶ Se A. A. Youschkevitch 1974: 129 [DSB IX].

så at sige lå i luften og var modne til at blive høstet³⁷. Endelig var forløbere for operationsanalysens lineære programmering og simplex-metode allerede blevet udviklet i Sovjetunionen i 1938 med henblik på brug i den økonomiske planlægning og publiceret på russisk—jfr. nedenfor.

Man kan også spørge, om de nævnte discipliner umiddelbart kan takke krigen for deres betydning for senere årtiers matematik og tekniske civilisation bygget på computere, automation, processtyring o.s.v.—eller om de først fuldblyrdede deres potentialer og nåede deres modnere udvikling i vekselvirkning med civile behov. I den første 20-årsperiode tyder kontormaskinefirmaet IBM's hurtigt etablerede førerposition og i den næste japanernes voksende rolle på at computerproduktion og -anvendelse kun kunne udfolde sig fuldt ud på grundlag af den civile verdens kommercielle, administrative og produktive behov—hvad der egentlig også var at

³⁷ Faktisk var begyndelsen også gjort inden krigen i både USA og Tyskland, begge steder i ikke-militær sammenhæng. I USA havde Stibitz, der var »matematisk ingeniør« på Bell Telephone, i 1937 af nysgerrighed leget med relæers »logiske« egenskaber og bygget en simpel regneenhed på køkkenbordet. I 1940 var det blevet til én større maskine bygget til regning på telefontransmissionsproblemer. Fremstillingsprisen (20 000\$) forhindrede bygning af flere eksemplarer, indtil et nyt eksemplar blev bestilt til luftværnsberegninger under krigen. Der fulgte flere modeller, men indtil krigens slutning blev de kun brugt til samme beregningstype (Stibitz i Metropolis et al 1980: 479-483).

Også det tyske tilfælde viser at computerens udvikling måtte tage sin tid, og at den hverken kunne udfolde sin alsidighed under førkrigsbetingelserne eller under krigen. Bygningsingeniøren Zuse havde i 1936 påbegyndt konstruktionen af en binær regner, og efter meget besvær i 1937 fået en fabrikant interesseret i ideen. Ved krigens start blev Zuse, trods fabrikantens påstand om hans arbejdes interesse for luftvåbnet, indkaldt til almindelig krigstjeneste; »De tyske flyvemaskiner er verdens bedste; jeg ser ikke hvad der skulle være at beregne der«, mente hans major. Først senere blev Zuse overført som ingeniør, ikke som opfinder, til flyvemaskineindustrien, hvad der gav ham lejlighed til at vise sine ideers bærekraft; men hans forskellige modeller blev hver for sig kun brugt til et enkelt opgaveområde; hans vidtgående ideer forblev i hans hoved og i hans skrivebordsskuffe, og blev i stedet realiseret i USA af von Neumann efter krigen (Zuse i Metropolis et al 1980: 611-615).

vente, da kun anvendelser på sådanne områder kræver og tillader masseproduktion og stadig billiggørelse³⁸.

For den fulde udvikling af operationsanalyse og af processtyring og -kontrol gælder det samme: At først de »ikke-barokke« anvendelser i det civile område lod teknikkerne modnes til det punkt hvor de kunne motivere udviklingen af bredere teori—og først da der var etableret en frugtbar vekselvirkning mellem *teori* og *teknikker* blev disse af virkelig betydning, alment-samfundsmæssigt og som pejlemærker for matematikkens transformation.

Alt i alt synes følgende konklusioner altså berettigede:

- Selv om også 2. verdenskrigs militære behov fremmede grundforskningen, så drejede det sig dog til stadighed om »orienteret grundforskning«, som ikke bragte afgørende nybrud. Videnskabens langsigtede

³⁸ Det detaljerede forløb bag IBMs fremmarch er informativt. Firmaet Engineering Research Associates (senere Univac) blev grundlagt kort efter krigen af tidligere reserveofficerer med kodningscomputer-erfaring. Det arbejdede længe udelukkende på hemmelige militære opgaver. Prisen herfor var, som erkendt af en firmatalsmand, orientering efter løsning af allerede definerede enkeltopgaver og ikke efter undersøgelse og analyse af komplekse situationer; manglende erfaring med kreativ vekselvirkning mellem brugere og fabrikanten; og dermed i sidste ende »besværliggørelse af firmaets indtræden i kommercielle aktiviteter og forsinkelse af dets modning til udbyder af totale computersystemer«. Sandheden i denne bedømmelse blev demonstreret i 1953, da IBM med sin 701-maskine bragte sin første »general purpose computer« på markedet. Skønt også ERA/Univac nu orienterede sig efter det civile marked og på grund af sin lange erfaring fik visse startfordele og -successer, måtte det hurtigt afgive markedsdominansen til IBM (Se Thomash i Metropolis et al 1980: 485-490).

Også IBM-701 blev oprindeligt planlagt som "defence calculator", og det første kundeeksemplar blev leveret til kernevåbencentret i Los Alamos. IBM planlagde, byggede og markedsførte imidlertid bevidst maskinen som alment anvendelig—en politik der byggede videre på IBM's årelange erfaring som producent af kontormaskiner og på dets tradition for ansættelse af bredt kvalificerede forskere og åbning til universiteterne (se Hurd i Metropolis et al 1980: 390-392).

udviklingsbehov blev kun i ringe grad tilfredsstillet.

- Den militære teknologiudvikling modtog på lidt længere sigt mere fra den civil funderede teknologi- og videnskabsudvikling end omvendt.
- Selv hvis Manhattanprojektets omkostninger kun med den allergroveste tilnærmelse skulle komme på højde med summen af alle tidligere udgifter til videnskabeligt udviklingsarbejde, må man (ganske uafhængigt af projektets formål) bedømme gigantprojektets produktivitet som *oprørende ringe*. Det resulterede bestemt ikke i nogen fordobling af menneskehedens viden og kunnen!
- I en human verden havde den direkte vej »fra Pushkin-digtene til industriel anvendelse« af Markov-processen været mulig, uden Manhattan-projektets horrible ressourcespild. Kun i en militariseret verden—om overhovedet—er militarismen nødvendig for det videnskabelige fremskridt.

VI. Nutid. Fremtid?

»Kun i en militariseret verden—om overhovedet—er militarismen nødvendig for det videnskabelige fremskridt«. Moralsk trøsterigt. Man hvad betyder det i *vores* nutidige verden?

Lad os begynde med matematikernes eget synspunkt. Matematikkens »Nobelpris«, Fields-medaljen, der hvert 4. år gives til 2-4 unge matematikere for epokegørende matematisk forskning, kan demonstrere det for os. Udvalget af prismodtagere siden indstiftelsen i 1936 og de officielle begrundelser for priserne som matematikkens store har formuleret ved

prisuddelingerne viser os hvad matematikere regner for »epokegørende«. Belønnet bliver udelukkende

- løsning af gamle *matematiske* problemer,
- sammenkobling af forskellige områder af *matematikken* gennem opdagelse af tværforbindelser og nye begrebsdannelser, samt
- åbning af vejen til ny *indre-matematisk* udvikling.

Disse kriterier gælder også i de ca. 10% af tilfældene hvor arbejdet inden for anvendelsesrelaterede felter er blevet belønnet. Denne særlige situation har stort set kun givet anledning til specielt at betone det belønnede arbejdes rene karakter eller indre-matematiske betydning³⁹.

Hvis anvendelser er vigtige for matematikkens videnskabelige udvikling, så er altså anvendelser i almindelighed og militær anvendelse i særdeleshed ikke så vigtige at de ikke kan fortrænges fra selv de førende matematikeres bevidsthed. Den indflydelse som praksis eventuelt måtte have på matematikudviklingen må altså i hovedsagen være indirekte.

At på den anden side en sådan indflydelse faktisk gør sig gældende, at altså de »førende matematikeres« bevidsthed er indskrænket og kun genspejler ét aspekt af virkeligheden, kan ses af eksemplet ikke-lineær analyse. Standard-lærebogen i denne disciplin, M. S. Bergers *Nonlinearity and Functional Analysis*, dokumenterer ud over de indre-matematiske kilder til disciplinen (differentialgeometri og variationsregning) i detaljer en mangfoldighed af kilder i klassisk og moderne matematisk fysik, i økonomi og i biologi⁴⁰.

³⁹ Nøjere analyse i Booß & Høyrup 1984: 27f. Hertil skal dog føjes, at en af tre Fields-medaljer i 1986 blev givet for arbejde der forbandt topologi og matematisk fysik, og at dette for første gang blev fremhævet positivt (*Proc. ... 1986*: 3-6).

⁴⁰ Berger 1977: 10-18, 60-63.

Hertil kan man bemærke, at man netop inden for den ikke-lineære analyse måtte forvente kraftig indflydelse fra moderne samfundsmæssig praksis. Ikke-lineariteten er, sammen med den matematiske statistik, så at sige »den videnskabeligt-teknologiske revolutions egen matematik«. Den klassiske mekanik og den klassiske matematiske økonomi byggede i hovedsagen på lineære tilnærmelser til virkelighedens sammenhænge⁴¹ og på forestillingen om eksakt og fuldstændig beregnelighed. Sådanne tilnærmelser har begrænset gyldighed, og det var op til ingeniørens og den praktiske økonoms intuitive pragmatiske sans at anvende den idealiserede teori med skønsomhed i materiel og samfundsmæssig praksis. I en tid hvor den pragmatiske intuition fortrænges af global videnskabeliggørelse bliver der brug for en matematisering af de reelle sammenhænges ikke-linearitet og af vores videns ufuldstændighed,—altså netop for ikke-lineær analyse og for teoretisk statistik.

Betragter vi i stedet matematiske discipliner som den moderne topologi og den moderne algebra, så er tilsvarende direkte krav til teorien fra praksis næppe at forvente og næppe heller at finde. I en anden forstand kan man dog også betragte disse områder som sider af »den videnskabeligt-teknologiske revolutions matematik«. De matematiserer ikke den virkelige verdens kompleksitet men—mere abstrakt—*kompleksiteten som sådan*. Hvilken tid, om ikke vores, ville f. eks. interessere sig for grupper med 808 017 424 794 512 875 886 459 904 961 710 757 005 754 368 000 000 000 ($=2^{46} \cdot 3^{20} \cdot 5^9 \cdot 7^6 \cdot 11^2 \cdot 13^3 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 23 \cdot 29 \cdot 31 \cdot 41 \cdot 47 \cdot 59 \cdot 71$) elementer⁴²?

⁴¹ Man kan eksempelvis nævne Hookes lov, d'Alemberts bølgeligning og Walras' »rene politiske økonomi«.

⁴² Se Conway 1980. Det skal bemærkes at *vejen* fra det 19. århundredes gruppeteori (der bestræbte sig på at erstatte uigennemsigthed og kompleksitet med klarhed og simpelhed) til disse moderne »monsters« bl.a. er gået over kvantefysikkens irreducible grupper—også i dette tilfælde har altså reelle kompleksiteter og ikke alene kompleksiteten som abstrakt-ideologisk problem spillet en orienterende rolle.

Hvilket århundrede før det 20. ville komme på den idé at den uendeligt irregulære »Mandelbrot-mængde« og ikke den fuldkomment regulære cirkel er den smukkeste af geometriens figurer?

Allerede i tilfældet ikke-lineær analyse er indflydelsen fra praksis altså først og fremmest en indflydelse fra *praksis som helhed*, ikke fra enkeltproblemer. Hvis vi går over til topologi og algebra kan det samme siges med endnu større bestemthed.

Kan alt dette—eksemplificeret ved Fields-medaljer, ikke-linearitet og topologi—sammenfattes i et enkelt billede af forholdet mellem ren matematik, praksis og militær? Det kan det, nemlig under overskriften »organiseret segmentering«.

Lad os allerførst bemærke, at der i dag findes langt flere matematikere end nogensinde før, og langt flere personer der anvender matematik. Som bemærket af videnskabs- og teknologihistorikeren D. J. de Solla Price er de fleste af verdenshistoriens forskere og ingeniører nulevende. Der findes i dag så mange matematikere og så mange teknologer, at stærke *indre* vekselvirkninger ikke blot findes men også dominerer på begge områder. Begge områder er også udviklet så langt ud over common-sense-niveauet at de fleste af en matematikers spørgsmål kun kan besvares af andre matematikere, og de fleste af hans arbejder kun henvender sig til fagfæller i snæver forstand. Det samme gælder mutatis mutandis for teknologen. I reglen er kun resultatet af mange matematikeres samarbejde og den flyvemaskine på hvilken mange teknologer har arbejdet sammen anvendelig for andre. Matematik og teknologi, eller endda snarere deres underområder, udgør hver for sig »åbne systemer«: For hvert enkelt delelement (matematiker eller teorem, ingeniør eller maskinkomponent) er vekselvirkningen med andre delelementer på samme niveau talrigst og vigtigst. For hvert enkelt system frembringer disse indre vekselvirkninger såvel systemets inertie som dets ydedygtighed. De ydre vekselvirkninger er i forhold

til antallet af indre vekselvirkninger marginale; som i et biologisk system kan de imidlertid betragtes som nødvendig energitilførsel; som lods og roret på et skib kan de også bestemme den træge masses retning og dermed indvirke på *arten* af systemets ydelse.

Disse systemteoretiske metaforer kan udfyldes konkret. Fields-medaljerne viser os den indre dynamiks umiddelbare dominans. Selv i de sjældne tilfælde hvor ydre vekselvirkninger skinner igennem i pristagernes arbejde belønnes det der peger indad i systemet. De marginale indvirkningers rolle bliver derimod belyst af den ikke-lineære analyse. Den ikke-lineære analyse er ikke en ophobning af matematiske svar på praktiske spørgsmål; de fleste teoremer forholder sig til spørgsmål som stilles af andre teoremer—hvad der gør at der i det hele taget er tale om en matematisk *disciplin*. På den anden side er i det mindste områdets grundlæggende problemstilling og de overordnede mål der løbende søges indfriet bestemt uden for disciplinen og i stort omfang endda uden for matematikken. Her udgør altså de ydre indvirkninger både energikilde og lods. Det samme kunne—ord til andet—siges om matematisk statistik og sandsynlighedsteori.

Discipliner som topologi er bedre afskærmet over for den matematik-eksterne virkelighed. Topologiens ydre vekselvirkninger er næsten alene vekselvirkninger med andre områder af den rene matematik: Med talteori-en, algebraen, den komplekse analyse, de partielle differentialligninger, den algebraiske geometri, differentialgeometrien—og som sagt med den moderne matematiks overordnede karakter, studiet af *kompleksiteten som sådan*.

Når videnskab og praksis allerede på Galileis tid måtte betragtes som netværk; når uddifferentieringen af fysik og ingeniørvidenskaber, og af ren og anvendt matematik i det 19. århundrede var en forudsætning for videnskabeliggørelsen af teknologien,—så er det egentlig heller ikke bemærkelsesværdigt at de samme træk er endnu tydeligere i den viden-

skabeligt-teknologiske revolutions nuværende, modnere fase. De angivne erkendelsesteoretiske argumenter for segmenteringens nødvendighed for dets samlede videnskabeligt-teknologiske systems ydedygtighed støttes altså af den historiske kontinuitet. (Følgeproblemet, selve segmenteringens indvirkning på ydelsens karakter, f. eks. i form af samvittigheds- eller bevidstløs assistance ved ødelæggelse af naturen og udryddelsen af medmennesker, kommer jeg tilbage til).

Tilbage står spørgsmålet om rustningens og krigens rolle. Hvad fortæller den historiske kontinuitet om den sag?

I den samlede verdenshistorie var rustning og krig aldrig *noget særligt* for matematikken. Krigen var en del af den almene samfundsmæssige praksis på linie med andre dele. Når krigen og krigsforberedelsen havde samfundsmæssig prioritet blev den også en vigtig ydre indflydelse (sml. École Polytechnique). Sjældent, om overhovedet nogensinde, var imidlertid den militære indflydelse på matematikken af specifikt militær karakter. Hookes arbejde havde ikke set anderledes ud hvis Royal Society havde interesseret sig for handelsflådens forbrug af tømmer; havde nogen villet betale for undersøgelser af luftmodstanden mod sukkerkugler havde spørgsmålene til matematikken været identiske med ballistikkens⁴³.

Er det også situationen i dag? Lad os betragte sekvensanalysen, som den blev udviklet under 2. verdenskrig. Den statistiske analyse af en produktionslinies pålidelighed var naturligvis vigtig for masseproduktionen

⁴³ Nedenfor vender jeg tilbage til forskellige negative konsekvenser af den militære indflydelse på videnskabsudviklingen, under stikordene *punktualisering* og *overlæsning*. De træder sjældent klart frem når man undersøger udviklingen af matematikken i snævrere forstand—først og fremmest, kan man formode, fordi der ikke opstod nogen matematik hvor de blev dominerende.

Ét eksempel på denne situation har vi været inde på allerede: Det 15. århundredes portugisiske navigationsvidenskab. Jfr. også diskussionen nedenfor (note 57) af de senere års tendenser i datamatisk softwareudvikling.

af våben og ammunition under krigsbetingelser. Teknikken (hvis grundlæggende ideer som i så mange tilfælde forelå allerede inden krigen⁴⁴) blev udarbejdet af medlemmer af »hvad der bestemt må være den mest enestående statistikergruppe der nogensinde er organiseret, hvis både antal og kvalitet tages i betragtning«⁴⁵. En sådan gruppe havde det civile liv ikke været modent til at sammenstille inden 1941. I den forstand var krigen altså *noget særligt* for spillet mellem videnskab og praksis: Kun under den totale krigs ekstreme tryk lader (eller lod indtil 1945) det kapitalistiske samfund sig tvinge til den rationelle organisering som muliggør optimal udnyttelse af videnskabens potentialer. I den *faktisk forløbne* historie var krigen en nødvendig betingelse for formuleringen af sekvensanalysen som videnskabeligt problem og for dets løsning. På den anden side handler moderne statistiske standardlæreboegers eksempler om kvalitetskontrol i civil produktion og om tilsvarende uskadelige eller endog nyttige stikprøvevurderinger, der naturligvis lige så gerne kunne have været udgangspunkt for teorien.

Muligheden for civil udvikling af sekvensanalysen er en ahistorisk spekulation. For en anden af verdenskrigens matematiske teknikker kan en faktisk (tidligere og altså uafhængig) civil opståen imidlertid eftervises, som allerede berørt. Hvor Koopmans lagde grunden til den lineære programmering i arbejde med transportteori til brug i Stillehavskrigen, havde Kantorovitj udviklet ækvivalente teknikker i lige så moden form i 1938⁴⁶ med henblik på brug i den sovjetiske femårsplanlægning.

⁴⁴ Se Wallis 1980: 326.

⁴⁵ Således beskrives gruppen retrospektivt af sin leder W. Allen Wallis (1980: 322). Han fremhæver i øvrigt, at gruppen heller ikke efter 1945 har fundet sin lige.

⁴⁶ Publiceret på russisk i 1939 som *Matematiske metoder til organisering og planlægning af produktionen*—se Rees 1980: 618f.

Senere eksempler på den *ikke specifikt militære karakter* af den militære indflydelse på videnskabs- og teknologiudviklingen frembyder de højere programmeringssprog. COBOL (COMmon Business Oriented Language), det i dag til administrativ databehandling mest anvendte (og dermed også alt i alt mest udbredte) programmeringssprog kan takke et af Pentagon organiseret kommissionsarbejde for sin opståen og tidlige udvikling; her arbejdede luftvåben og flåde sammen med de største elektronikkoncerner (bl. a. IBM, Honeywell, Univac/Sperry-Rand og RCA) og de allerstørste industrikoncerner (bl.a. Dupont, General Electric, US Steel, Standard Oil N.J. og General Motors)⁴⁷. Sin hastige udbredelse kan COBOL takke Pentagons erklæring for, at man kun ville købe maskiner udstyret med COBOL compiler eller »dermed bevisligt ligeværdigt« udstyr⁴⁸. Den militære kundes vægt var så stor at alle fabrikanter i praksis måtte tilbyde COBOL.

Udviklingen af FORTRAN (FORMula TRANslating System), det til dato mest udbredte sprog til videnskabeligt-tekniske beregninger, fortæller den samme historie i en anden variant. IBM synes at have udviklet sproget i 1954 og fremefter på eget initiativ. Udviklingen er snævert forbundet med kontormaskinefirmaet IBMs forsøg på at trænge ind på markedet for videnskabeligt-tekniske beregninger og store, hurtige computere. Alle institutionelle og personlige forbindelser viser imidlertid at dette marked i det væsentlige blev defineret af den militære og nuklearteknologiske kundedreks⁴⁹

⁴⁷ Rosen 1967: 121f indeholder den fulde liste. Jfr. Sammet 1969: 330ff.

⁴⁸ H. B. Hansen, privat meddelelse. Rosen (1967: 13) angiver mindre specifikt kilden som »USA's regering«. I praksis kunne beviset ikke føres hvis ikke udstyret var COBOL.

⁴⁹ Forbindelserne går til University of California, Radiation Lab (hovedbase for den videnskabelige brintbombelobby); United Aircraft Corporation; Joint Meteorological Committee of the Joint Chiefs of Staff; Oak Ridge National Laboratory; og US Navy. Se Goldstine 1972: 324-331, og Sammet 1969: 143.

Det sidste tiår har endelig bevidnet udviklingen af det nye programmeringssprog Ada, der som overordnet styringssprog i forhold til våbensystemer udstyret med forskellig software skal muliggøre simultan data-matiseret kontrol og styring af det kombinerede totalsystem («real-time control and command»). Det NATO-omspændende udviklingsarbejde er blevet rigeligt finansieret af Pentagon. Et udpræget militært produkt, altså, samtidig med at udviklingsarbejdet ligger på datalogiens forskningsfront.

På den anden side: ganske som COBOL er velegnet til alle administrative opgaver og ikke kun til lagerforvaltning når det gælder reservedele til jagerfly; og ganske som FORTRAN kun »tilfældigvis« blev udviklet til den militære og ikke til den civile vejrtjeneste; sådan er den simultane kommunikation mellem forskelligt udstyrede delsystemer af et komplekst hele ikke kun noget som NATO-integrationen har brug for. Det er et behov som i det hele taget karakteriserer den nuværende fase af den videnskabeligt-teknologiske revolution.

Muligvis er Ada i sin konkrete udførelse overlæst i forhold til civile behov; det hævder i hvert fald flere og flere eksperter. Integrationen af alle våbensystemer under en timekort tredje verdenskrig er jo også et substantielt anderledes problem end den over år udstrakte styring af en storkoncern, en nationaløkonomi eller et automatiseret produktionskompleks. Den tænkelige overlæsning af Ada er altså en parallel til de højttopskruede pålidelighedskrav til militærelektronikken, som Joachim Wernicke har karakteriseret som »tribut til en absurd teknikforståelse«, fordi mængden af komponenter f. eks. i en moderne tank samtidig er så stor så den trods de høje krav til enkeltkomponenterne kun kører ca. 200 km mellem to eftersyn⁵⁰. Det man kunne kalde den »civilt-progressive

⁵⁰ 1982: 9. Som tidligere militærelektronikexperts og -forsker, nu aktiv kritisk skribent på feltet ved Wernicke bedre end de fleste hvad han taler om.

side« af Ada—den nytte af produktet der i det mindste som kundeforventning må være forudsætningen for at det skal kunne sælges som kommercielt produkt—har imidlertid intet med den eventuelle overlæsning at gøre; *den side* havde lige så godt kunnet drives frem af civile behov.

Endnu engang viser det sig altså at den direkte overgang »fra Pushkin-digtene« til fredelig industriel anvendelse kun umuliggøres af den militarisering der dominerer vores verden. Det rejser det yderligere spørgsmål, om omvejen over rustningen måske nok er en risikabel og morderisk men—bortset fra eventuel overlæsning af produkterne—dog en økonomisk omkostningsfri omvej, eller den—som Manhattan-projektet—også fører til ressourcespild og måske ligefrem til generel teknologisk pervertering. Det første hævdes jo ganske hyppigt som forsvar for rustningsbudgetterne (i Danmark således som forsvar for F16-købet).

En vigtig forskel mellem militærelektronikken og supersproget må fremhæves. Den elektroniske overlæsning af en tank eller en jagerbombemaskine opvejes i et vist omfang af de høje krav til enkeltkomponenterne; i et højkomplekts programmeringssprog, derimod, er de enkelte faciliteter afhængige af og forbundet med hinanden; den kvantitative overlæsning af sproget gør dermed automatisk også de enkelte »komponenters« virkemåde mindre pålidelig og forudsigelig end i en mindre overlæsset udgave. I civile anvendelser vil dette være besværligt og nedsætte effektiviteten; i det militære og beslægtede domæner bliver situationen værre: »I anvendelser hvor pålidelighed er kritisk, d.v.s. i atomkraftværker, krydsermissiler, early-warning-systemer og raketforsvarssystemer« vil ingen længere være i stand til at intervenere når først »et upålideligt programmeringssprog der frembringer upålidelige programmer« har fået tingene til at gå galt. »Den næste raket der farer vild på grund af en fejl i et programmeringssprog er måske ikke en videnskabelig rumraket på en uskyldig færd mod Venus; måske bringer den en brintbombe til eksplosion over en af vore egne byer«—altsammen formuleringer som C. A. R. Hoare kom med i en appel om ikke at tage Ada i militær brug i den version der faktisk kom; lejligheden var hans takkeforelæsning efter modtagelse af Turing medaljen. Det skal fremhæves at Hoare nævnes i Pentagon's officielle præsentation af sproget som én af den der har »haft konstruktiv indflydelse gennem kommentarer, kritik og forslag« (*Military Standard 1815*, som aftrykt i Horowitz 1983; citat p. 419); han må altså kende sproget og dets muligheder og begrænsninger særdeles godt.

Jfr. også note 57 om aktuelle softwareproblemer i almindelighed.

Hvis vi sammenligner de ressourcer der sættes ind på militærforskning med de hidtil bekendte resultater af militærforskningen for det civile liv synes karakteristikken »ressourcespild« begrundet. Det samme tyder den ovenstående analyse af 2. verdenskrigs spin-off effekter på. Der kan gives teoretiske grunde til at det dårligt kan være anderledes:

For det første er militærforskningen bundet til hemmeligholdelse. Det umuliggør videnskabens »naturlige« vækstproces, hvor ethvert åbent spørgsmål og ethvert vigtigt resultat i princippet forelægges et verdensomspændende fællesskab af fagfæller som grundlag for kritik og videre arbejde. Videnskabelig information produceret i militærforskningen cirkulerer kun i snævre baner—end ikke defineret nationalt men af den enkelte militærforskningsinstitution og koncern (eller den enkelte koncernafdeling). Man kan erindre hvad der blev sagt ovenfor om den portugisiske navigationsvidenskab. Man kan også tænke på kerneenergiens udvikling, hvor de første reaktorer blev brugt til bombefremstilling og derfor »de første udviklinger blev foretaget under streng hemmeligholdelse, hvad der afskar flertallet af de ansvarlige ingeniørers og fysikers kolleger fra at kunne fælde kritisk dom over de udviklede teknologier«⁵¹; det skulle ifølge Burhops mening endnu i dag være hovedkilden til denne teknologis vedvarende problemer. (Sml. også note 38 om Univac).

For det andet har de spørgsmål som militæret forlanger videnskabens svar på som oftest punktuelt karakter, og de skal besvares på kortest mulig tid. »Hellere et brugbart svar nu end et teoretisk gennemarbejdet om to år«. Også dette kan minde om den ufrugtbare portugisiske navigationsvidenskab. Især efter de tidlige 60'ere, hvor et Pentagon-forskningsprojekt »Hindsight« fandt meget lidt udbytte for militæret i den samlede efterkrigs-

⁵¹ Se Burhop 1980: 2.

grundforskning⁵², er tendensen blevet stadig stærkere til at rustningsproduktionen i sit udviklingsarbejde kun benytter allerede eksisterende viden⁵³.

Begge omstændigheder bidrager til at de midler der bruges til militærforskning bringer »mindre viden pr. krone« end midler brugt til åben civil og grundvidenskabelig forskning. Dertil kommer så at ikke al destruktionsvidenskabelig viden er fuldt anvendelig til fredelige formål. »Mindre viden pr. krone« bliver dermed *endnu mindre civilt anvendelig viden pr. krone*.

Enkelte kritiske iagttagere går endnu videre og hævder at der overhovedet ingen eller næsten ingen civilt anvendelig viden kommer ud af rustningsforskningen. Således vurderer Mary Kaldor at militærteknologien siden slutningen af 50'erne er blevet så specialiseret og det militært-industrielle kompleks' »autistiske drivkraft« så énsidigt rettet ind mod denne specialisering, at »rustningsbarokken« kun fører til fuldstændig teknologisk degeneration⁵⁴ (sml. også Joachim Wernicke som refereret

⁵² Greenberg 1969: 59. Projekt »Bagklogskab« undersøgte teknologien i 20 avancerede våben (forskellige kernevåben, raketter, radarudstyr, en navigationssatellit og en sømine) og prøvede at analysere teknologien ud i enkeltbidrag fremkommet efter 1945. Af 556 således registrerede enkeltbidrag var 92% tekniske opfindelser, knap 8% stammede fra den anvendte forskning, og kun to bidrag stammede fra grundforskningen.

Skønt projektets metode var problematisk (således blev hele halvlederteknologien opgjort som ét bidrag, transistoren), er resultatet en klar bekræftelse af at det teknologiske system domineres af sine indre vekselvirkninger.

⁵³ Stjernekrigsprojektet citeres ofte som en undtagelse fra denne regel, og endda som et varsel om nye tendenser. For det første må man dog spørge sig selv om denne kolossale vildmand er mere end en kortvarig krølle på kurven—en inkompetent ildsjæl med for stor magt og med korrupte eller lige så inkompetente rådgivere kan få enhver institutionel fornuft til at bryde sammen for en vis tid. For det andet tjener det der siges fra projektets profitmagere som reklame, og det kan derfor antages at rumme lige så meget disinformation som information.. Realiteterne vil vi først lære at kende ad åre. Jfr. *Scientific American* 255:5 (November 1986), 54-56, "SDI Boom—or Bust".

⁵⁴ Kaldor 1982.

ovenfor). Omtrent samme opfattelse har den amerikanske marxist Victor Perlo⁵⁵, mens den sovjetiske økonom Viktor Kudrov⁵⁶ såvel som de amerikanske koncerners vesttyske og japanske konkurrenter frygtede at Reagans eksploderende militærbudgetter skal styrke USAs teknologiske førerposition.

Konkurrenter har gode grunde til ikke at tage fejl. Vi kan derfor tro dem så vidt at »mindre viden« forbliver *viden*. På den anden side gælder Kaldors argumenter på mange omend næppe alle rustningsteknologiens områder; »mindre viden« forbliver derfor, også ifølge de nævnte iagttagere af den empirisk konstaterbare teknologiske udvikling, *mindre*.

Det gælder altsammen for militært bundet forskning i almindelighed: Alle videnskaber, ikke kun matematikken, hæmmes af militarisering. Hertil kommer at militærforskning ikke er den eneste kilde til hemmeligholdelse, dobbeltforskning, fejlorientering og punktualisering. Også kapitalismens økonomiske konkurrencekamp, især under vor epokes monopolkapitalistiske forhold, får sådanne tendenser til at trives. Det gør endelig også forskningsmiljøets egen »publish-or-perish«-degeneration.

Mod de økonomiske kræfters og de sociale strukturers virkninger arbejder imidlertid andre kræfter: Offentlige patentregistre, det videnskabelige miljøes egne sociale normer, græsrodsbevægelsernes protester mod barok teknologi, og endda storkoncernernes egen interesse i en vis handel med viden. Når det gælder militærforskningen bliver disse korrigerende kræfter stort set sat ud af spillet.

Dernæst: Hvad der *ikke kun* gælder for matematikken gælder dog *også* for matematikken. Man kan endda spørge om ikke punktualiseringen rammer matematikken hårdere end de øvrige videnskaber. De spørgsmål

⁵⁵ 1974: 172.

⁵⁶ Kudrow 1981.

den teknologiske praksis stiller f. eks. til fysikken kræver ofte totalforståelse af det fysiske fænomen for at kunne besvares; det gælder f. eks. den moderne computerteknologis spørgsmål til faststoffysikken, fusionsreaktorens til plasmafysikken, meteorologiens til hydrologien, o.s.v. Militære såvel som andre praktiske spørgsmål til matematikken er derimod hyppigt formidlet over tekniske problemstillinger, hvor matematikken kommer ind som en hjælpedisciplin der besvarer konkrete enkeltspørgsmål. I sådanne tilfælde antager spørgsmålene let punktuelt karakter og er så næppe længere integrerbare i en indre-matematisk udvikling (og ifølge det ovenstående derfor sandsynligvis heller ikke af væsentlig interesse i forhold til matematikkens langsigtede frugtbarhed)⁵⁷.

⁵⁷ Disse argumenter gælder »egentlig« matematik. På feltet *computer software*, der er mindre »egentligt« som matematik betragtet men samfundsmæssigt ikke mindre vigtigt kan behovet for »totalforståelse« blive lige så stort som når det gælder fysisk teknologi. Her kan et praktisk problem undertiden først løses ved hjælp af et grundlæggende gennembrud. Det kan som eksempel nævnes at Pentagon's ovennævnte COBOL-komité havde som kommissorium at finde øjeblikkelige korttidsløsninger på presserende problemer på grundlag af eksisterende maskiner og sprog, men at den lynhurtigt resolverede at den eneste vej frem var skabelsen af det nye sprog (se Rosen 1967: 12f).

I de senere år synes der at være en tendens til at militær indflydelse ikke blot har fremkaldt specificerbare udviklingsprojekter men også (på negativ vis) har gennemsyret hele feltets arbejds- og tænkemåde. Der er blevet kastet kolossale ressourcer ind i projekter der var overlæst med alle tænkelige faciliteter i forhåndsgiven specifikation; producent-bruger vekselvirkninger og kreativ udnyttelse af tilbagemeldinger fra udviklingsprocessen er derved blevet udelukket (se Abrahams 1988). Ifølge Abrahams (der er formand for feltets professionelle sammenslutning, *Association for Computing Machinery*) hæmmer dette ikke blot udviklingen af militær software men softwareudvikling i almindelighed, da det er »en uudtalt forudsætning at software bygges efter militære specifikationer«, og da rimeligheden af disse specifikationer accepteres ukritisk.

Situationen ser ud som en gentagelse ERA/Univacs tidlige arbejdsmåde (se note 38), blot i umådeligt forstørret målestok. Den historiske parallel støtter Abrahams påstand om at også militært tænkt softwareudvikling giver »mindre viden pr. krone« end en udvikling baseret på dialog og feedback. På langt sigt kan man derfor også regne med en gentagelse af ERA/IBM-strukturen. Så længe Pentagon imidlertid udtrykkeligt specificerer at der »ikke skal tages hensyn

Sådan *behøver* det ikke forholde sig; i den nyeste matematik findes der trods alt eksempler på at en hel gren af matematisk forskning har måttet udvikles for at løse et praktisk problem—således skal topologen Pontrjagin ifølge folk der kender kontrolteoriens nyere udvikling indefra have udviklet sin gren af dette område for at løse raketstyringsproblemer⁵⁸. Det *behøver* ikke forholde sig som forklaret; men det *gør* det som hovedregel i dag.

Indtil nu blev matematikkens forbindelse til det militære establishment diskuteret som resultat af matematikkens anvendelse. Især i USA men også andetsteds findes der dog en anden forbindelse der kan sløre forståelsen: Finansieringen af forskning, herunder matematisk forskning, med henblik på at fremme universiteternes og forskernes integration »i nationens liv«—som daværende vicepræsident Hubert Humphrey så smukt formulerede universiteternes integration i det militært-industrielle kompleks⁵⁹. Det drejer sig altså ikke om betaling for erhvervelsen af militært nyttig know-how men om køb (og salg!) af ideologisk, politisk og moralsk loyalitet. Det forhold er dog ikke altid klart for iagttagerne og ofte end ikke for de købte selv. Der findes matematikere som griner i skægget over at have prakket »de tåbelige oberster« deres små grundvidenskabelige hobbyer på som potentielt militært interessante—samtidig med at de passer omhyggeligt på ikke at støde manden med pengepungen. Privat udtrykker de stolthed over at have unddraget destruktionsapparatet midler ved at lade deres

til omkostningerne« (citeret af Abrahams) og finansierer i overensstemmelse med dette princip, så længe vil omkostningerne ved den lave produktivitet blive båret af samfundet som helhed og ikke af de firmaer der arbejder efter ineffektive principper—og så længe vil det »lange sigt« ligge hinsides horisonten.

⁵⁸ j) Det skal så bemærkes at matematikeren Pontrjagin *selv* satte sig opgaven, og ikke blev styret af raketkonstruktørers enkeltbestillinger.

⁵⁹ Lang 1971: 73.

Hilbert-rum-forskning fremtræde som rumforskning⁶⁰. Andre derimod er stolte over at være blevet optaget »i nationens liv« og over at den forskning som de hidtil med beklagelse har anset for en privat fornøjelse åbenbart alligevel kan bruges i nationens interesse. Kritiske iagttagere uden konkret viden om forskellen på Hilbertske funktions-»rum« og verdensrummet finder endelig at de uhyre udbredte militære tilskud (f. eks. Pentagons tilsyneladende altafgørende deltagelse i finansieringen af den internationale matematikerkongres i Berkeley i 1986⁶¹) også til grundforskning og grundforskere er bevis på at *al* videnskab er militariseret på kryds og tværs.

Selvfølgelig er det undertiden vanskeligt at afgøre om et enkelttilfælde drejer sig om køb af en forskers (og universitetslærers) ideologiske troskab eller om raffineret indpasning af et tilsyneladende esoterisk enkeltresultat i et avanceret militært projekt. I de tvivlsomme såvel som i de utvivlsomme tilfælde er det dog klart at de midler der *nu* gives til grundforskning over NATO- og andre militære konti for at binde forskernes loyalitet ikke fremmer grundvidenskaben bedre end hvis de var givet direkte.

⁶⁰ Private iagttagelser. Ingen nævnt, ingen glemt.

⁶¹ Ikke alene optræder alle tre våbenarter i listen over »Grand Benefactors« (*Proc. ... 1986* p. xvii), men flådens bidrag har været stort nok til at sikre USA's regering verdensomspændende ophavsrettigheder til alle dele af kongresrapporten (*ibid.* p. ii).

VII. Afsluttende bemærkninger

Indledningen formulerede spørgsmålet, om matematikken er et gennemkorrumperet fag eller et neutralt og ansvarsfrit redskab. De mellem-liggende kapitler giver meget materiale til en diskussion af problemet men intet svar. Før vi forsøger at formulere et sådant skal vi et øjeblik træde uden for de matematiske videnskabers kreds og betragte et andet vidensfelt: Entomologi og insektbekæmpelse⁶².

I 1930'erne havde de gængse metoder til at beskytte afgrøder mod insektangreb i USA været »mekaniske« (bl. a. bestemte pløjningsteknikker) og biologiske (f. eks. planmæssige afgrøderotationer). Desuden brugtes enkelte kemiske bekæmpelsesmidler, hovedsagelig af botanisk oprindelse, og en del forskning i skadedyrenes biologi og i bekæmpelse ved hjælp af skadedyrenes naturlige fjender var i gang. De botaniske bekæmpelsesmidler importeredes, især fra Japan, og var alle hurtigt nedbrydelige i naturen. Kort før 2. verdenskrig var DDT imidlertid blevet opdaget; det kunne fremstilles syntetisk, det virkede mod alle insektarter, det var svært nedbrydeligt og var altså langvarigt virkende. Med sådanne egenskaber var stoffet den indlysende løsning på krigstidens umiddelbart presserende problemer, og dets succes var så stor at den militært set bedste metode efter krigen brugtes massivt og aldeles ukritisk og i mange år fortrængte alle andre; forskningen i biologiske bekæmpelsesmetoder blev afbrudt, og først efter et par årtier slog den erkendelse igennem at netop stoffets bredspektrede virkning og kemiske stabilitet—egenskaber der under krigsbetingelser var fordelagtige—nu havde gjort det til en miljøtrussel.

⁶² Det følgende er et koncentrat fra J. H. Perkins 1978.

DDT-erfaringerne illustrerer den ovenfor formulerede militære logik: »Hellere et brugbart svar nu end et teoretisk gennearbejdet om to år«. De viser også at denne logik ikke kan bruges i en langsigtet overlevelsestrategi; en sådan må, i stedet for brutale kølleslag (i dette tilfælde kemiske kølleslag mod naturen), bygge på sammenhængende og differentieret (i dette tilfælde biologisk) indsigt. De giver endelig et eksempel på at et totalkompleks af videnskabelig og teknisk viden ikke altid er neutral men kan pege på *bestemte* anvendelsesformer og i en aktuel historisk-samfundsmæssig sammenhæng kan udelukke andre; viden frembragt ud fra den militære logik *kan* være perverteret, *kan* indebære at der handles uden hensyn til videre konsekvenser.

Tilsvarende eksempler er dog svære at finde når det gælder den egentlig matematik (som omtalt i note 57 frembyder derimod de senere års udvikling af computersoftware visse paralleller til DDT-modellen). Matematikken er, når den anvendes praktisk, et redskab af meget generel karakter. Tilsvarende er, som vi ved, matematikkens virkelighedsbeskrivende egenskaber generelle og de øvrige videnskaber alle mere specifikke: Hvor naturhistorien beskriver enkelte dyrearter, biologien højst lovmæssigheder af almen gyldighed for levende organismer og kemien kun stoffets opførsel når det er koldt nok til at eksistere som atomer og molekyler, så kan de samme matematiske regulariteter og strukturer bruges som model for egenskaber for alle virkelighedens niveauer uden forskel. Det var denne karakter af generelt redskab der ovenfor blev formuleret i sloganform som »mursten er mursten« og »skibsbygning er skibsbygning«, og som fremgik af mange af den historiske fremstillings episoder. Kun på det helt overordnede plan indebærer matematikken en tendentiell stillingtagen: Anvendelse af matematik forudsætter at *planmæssig handling er mulig og ønskværdig*; som diskuteret ovenfor kan de sidste 50 års nye discipliner også siges at rumme det indirekte budskab at planmæssig

handling kan forudsætte en kompleks strategi.

Fra den abstrakte forskningslogiks synspunkt er matematikken altså stort set neutral og uskyldig. Intet matematisk teorem og ingen matematisk teori er i sig selv bundet til den ene snarere end den anden type anvendelse; selv komplekse teknikker som datalogi og operationsanalyse (begge i hvert fald i deres oprindelse matematiske) er, som vi har set, i princippet og som abstrakt kunnen kun forbundet med den videnskabeligt-teknologiske revolutions generelle problematik, ikke med nogen enkelt praksistype som f. eks. den militære⁶³.

På den anden side var, som vi også har set, udviklingen af de store programmeringssprog konkret-historisk ganske tæt forbundet med den militære praksis; i de sidste 10-20 år har der endda været en tendens til at den militære oprindelse fordrejer den faktiske arbejdsstil på området. I det hele taget er matematikken jo heller ikke blot en abstrakt forskningslogisk størrelse. Matematikken er organiseret i nogle *bestemte* discipliner, båret af *bestemte* institutioner, organiseret med *bestemte* interne og eksterne kommunikationsmønstre, o.s.v. De er ikke mere neutrale end sociale institutioner og alliancer i alminlighed.

⁶³ Ud fra analyseformer af en anden type end de ovenstående kunne man hævde at selve intentionen med og princippet i anvendelsen af matematik er *handlingsplanlægning under på forhånd givne betingelser*, og at dette er kernepunktet i al militær planlægning, taktisk såvel som strategisk. Men for det første er den sidste påstand kun virkelig holdbar siden Clausewitz' gennemslag. For det andet er krigen ikke det eneste område hvor der handles målrationalt; siden senmiddelalderen er både den økonomiske og den tekniske sfære i stigende grad blevet behersket af det samme princip, århundreder før krig blev et spørgsmål om komparative fordele og ikke om ære, og begge egnede sig bedre for matematisering end planlægning og gennemførelse af krig. Hvis en almen sub-optimerende målrationalitet genspejles i den moderne matematiks »ånd« (hvad der ikke er nogen helt umulig tanke), stammer den i hovedsagen fra markedøkonomien og den tekniske civilisation.

Ovenfor blev begrebet »organiseret segmentering« brugt til at forklare matematikkens aktuelle fremtræden, og det blev fremhævet at denne segmentering er en forudsætning for feltets videnskabelige og praktiske ydedygtighed. Samtidig betyder den imidlertid at den enkelte matematiker (som enhver anden specialist) tenderer til kun at kende sit eget delsystem og dets indre (sociale og kognitive) struktur; delsystemets ydre vekselvirkninger, dets rolle i en større helhed, bliver (som vi så det i forbindelse med Fields-medaljerne) relativt usynligt. Den enkeltes faglige samvittighed forholder sig kun til delsystemet, og hans bevidstløshed i forhold til dettes overordnede rolle bliver let til samvittighedsløshed i forhold til dennes konsekvenser. Det videnskabeligt-teknologiske totalsystem styres så i stedet af de kræfter der behersker delsystemernes indbyrdes relationer og kommunikation: Blinde eller halvblinde økonomiske kræfter, politiske beslutninger om rigelige bevillinger til én institutionstype og udsultning af en anden, eller bevidst kanalisering af videnskabelig kommunikation i bestemte baner og former.

Det sidste forhold kan lyde Macchiavellistisk-spekulativt i sin abstrakte facon; vi har imidlertid allerede set det historisk eksemplificeret ovenfor: Den bevidste hemmeligstempling af den portugisiske navigationsmatematik og af Monges deskriptive geometri inden revolutionen over for dens præsentation i offentlig »revolutionær« undervisning i 1795 (som revolutionspolitikeren Monge selv stod for⁶⁴). Endnu mere sigende er de statslige akademiers formidlingsfunktion i det 18. århundrede, oversættelsen af praktisk relevante problemer til videnskabeligt frugtbare spørgsmål.

Akademiernes virksomhed var offentlig, og sjældent specifikt militært orienteret. Det adskilte dem fra en institution som *Mathematics Research*

⁶⁴ Se Taton 1974: 472f.

Center US Army ved Wisconsin University⁶⁵, samtidig med at denne institution viderefører deres klassiske formidlingsfunktion. Centeret betales af militæret og ledes af en stab (1963-73 med den i note 34 omtalte J. Barkley Rosser som chef) blandt hvis opgaver det er for militæret at lokalisere problemer der kan løses matematisk, og at finde frem til velbetalte gæsteforskere der kan påtage sig den matematiske omformning af problemerne; stab og gæsteforskere er selvfølgelig også indblandet direkte i selve den matematiske bearbejdning af de rejste spørgsmål, men nok så væsentlig er deres rolle ved formuleringen af »matematisk interessante« spørgsmål der (bl. a. ved organisering af passende symposier) formidles videre ud i det åbne matematiske miljø og behandles af forskere uden kendskab til eller interesse for spørgsmålenes militære oprindelse; endelig står de for den på ingen måde trivielle tilbageførsel, kombination og oversættelse af den således opnåede videnskabelige information til svar på militærets praktiske problemer. Derved mangedobles udbyttet af de givne bevillinger for militæret, idet forskere med aflønning fra andre kilder nyttiggøres (i Hardys forstand), og store dele af det »blinde« segmenterede matematiske miljø styres ved beherskelse af nogle essentielle kommunikationskanaler. Mens det meste af den benyttede videnskabelige detailinformation selvfølgelig offentliggøres, kanaliseres resultatet af den samlende bearbejdning udelukkende til militæret; kun i uskyldiggjort udgave fremlægges den (med stærk forsinkelse) for den almene videnskabelige

⁶⁵ I al hast omdøbt til det mere anonyme *Mathematics Research Center* da dets virksomhed kom frem i lyset i 1970. Beskrevet med mange detaljer om organisation og aktiviteter i *The AMRC Papers* (1973).

offentlighed⁶⁶.

Wisconsin-centret er ikke enestående. En første institution af arten blev grundlagt i Oberwolfach i Tyskland i 1944, med en struktur og opgaver der lignede den amerikanske institution i forbløffende grad⁶⁷, og flere kunne utvivlsomt findes. Deres eksistens viser til fulde, at hvis matematikken som abstrakt videnskorpus kan betragtes som relativt neutral, så gælder denne neutralitet på ingen måde det arbejdende matematiske miljø: Enhver i dette miljø tager i praksis parti for den ene eller den anden udnyttelse af sit fag, ved at formidle og bearbejde problemer med rod i det ene eller det andet praksisfelt; ved at opdage eller ikke opdage sin påtænkte rolle i et større samspil; ved at lægge sine forskningsresultater frem offentligt eller kun i fortrolighed for den betalende institution; ved at sælge sin politiske og ideologiske loyalitet til gengæld for bekvemme forskningsmidler eller ved at undgå det; ved i sin undervisning (for matematikeren er jo også ofte universitetslærer) at lade segmenteringen blive til skyklapper, eller ved at kombinere den faglige seriøsitet med bredde og derved give næste generations fagfolk mulighed for at komme ud over bevidst- og samvittighedsløsheden; ved at påtage sig den ene eller anden offentlige rolle i kombination med sin faglige kunnen, eller dække sig ind under *matematikkens* erkendelsesmæssige neutralitet som gjaldt den *matematikeren*.

⁶⁶ Ud over sin rolle som skjult organisator og snylter i forhold til den videnskabelige offentlighed har centret også en rolle som central instans for militært ansatte matematikere. Det er ingen uvæsentlig funktion, for deres antal er stort. Således søgte i 1968 60% af alle amerikanske doktorander i matematik ansættelse på flyvevåbnets forskningscentrum (Adler 1973).

⁶⁷ Se Høyrup 1986. Man skal være opmærksom på at instituttet fik en ganske anden indretning og funktion efter krigens afslutning, og at initiativtageren til instituttets oprettelse på dette tidspunkt gjorde hvad han kunne for at sløre de oprindelige intentioner.

Lad disse sidste bemærkninger stå som provokation til eftertanke.
Uddybning ville overskride artiklens rammer.

BIBLIOGRAFI OG FORKORTELSER

- A History of Technology*. Edited by Charles Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall & Trevor I. Williams. 7 vols. Oxford: Clarendon Press, 1954-1978.
- Abrahams, Paul, 1988. "President's Letter: Specifications and Illusions". *Communications of the ACM* 31, 480-481.
- Addington, Larry H., 1984. *The Patterns of War since the Eighteenth Century*. London & Sydney: Croom Helm.
- Adler, Peter, 1973. "Kunskap och samhällsmoral". *Göteborgs Handels- och Sjöfartstidning*, 31.3.1973.
- Aujac, Germaine (ed., tr.), 1975. *Géminos, Introduction aux phénomènes*. Texte établi et traduit. Paris: »Les Belles Lettres«.
- Beaujouan, Guy, 1966. "Science livresque et art nautique au XV^e siècle", pp. 61-89 in M. Mollat & P. Adam (eds.), *Les aspects internationaux de la découverte océanique aux XV^e et XVI^e siècles*. Actes du cinquième colloque international d'histoire maritime (Lisbonne—14-16 septembre 1960). (Bibliothèque générale de l'École Pratique des Hautes Études, VI^e section). Paris: S. E. V. P. E. N.
- Berger, M. S., 1977. *Nonlinearity and Functional Analysis. Lectures on Nonlinear Problems in Mathematical Analysis*. New York: Academic Press.
- Bernal, John Desmond, 1939. *The Social Function of Science*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Boas, Marie, 1970. *The Scientific Renaissance 1450-1630*. London: Collins. 1. udg. 1962.
- Booß, Bernhelm, & Jens Høyrup, 1984. *Von Mathematik und Krieg. Über die Bedeutung von Rüstung und militärischen Anforderungen für die Entwicklung der Mathematik in Geschichte und Gegenwart*. (Schriftenreihe Wissenschaft und Frieden, Nr. 1). Marburg: Bund demokratischer Wissenschaftler.

- Brown, Martin (ed.), 1971. *The Social Responsibility of the Scientist*. New York: The Free Press / London: Collier-Macmillan.
- Burhop, E. H. S., 1980. "Die Kernenergie und ihre Perspektive". *Wissenschaftliche Welt* 24:1, 2-3.
- Cantor, Moritz, 1908. *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*. Vierter band. Von 1759 bis 1799. Leipzig: Teubner.
- Channell, David F., 1982. "The Harmony of Theory and Practice: The Engineering Science of W. J. M. Rankine". *Technology and Culture* 23, 39-52.
- Charbonnier, M. P., 1927. "Essais sur l'histoire de la balistique". *Mémorial de l'Artillerie Française* 6, 955-1251.
- Conway, J. H., 1980. "Monsters and Moonshine". *The Mathematical Intelligencer* 2:4, 165-171.
- Crew, Henry, & Alfonso de Salvio (trs), 1914. *Galileo Galilei, Dialogues Concerning Two New Sciences*. Translated, with an Introduction by Antonio Favaro. New York: Macmillan. Reprint New York: Dover, 1951.
- Defoe, Daniel, 1975. *Robinson Crusoe*. Oversat af Harriet Oppenheim. København: Lademann.
- Drake, Stillman, & I. E. Drabkin (eds, trs), 1969. *Mechanics in Sixteenth-Century Italy. Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo, & Galileo*. Madison etc: University of Wisconsin Press.
- DSB: *Dictionary of Scientific Biography*. Charles Coulston Gillispie, Editor in Chief. Vols I-XVI. New York: Charles Scribner's Sons, 1970-1980.
- Easton, Joy B. 1971. "Dee". DSB IV, 5-6.
- Gericke, Helmuth, 1984. "Das Mathematische Forschungsinstitut Oberwolfach", pp. 23-39 in *Perspectives in Mathematics. Anniversary of Oberwolfach 1984*. Basel: Birkhäuser.
- Gille, Bertrand, 1980. *Les mécaniciens grecs. La naissance de la technologie*. Paris: Seuil.
- Goldstine, Herman H., 1972. *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton: Princeton University Press.
- Greenberg, Daniel S., 1969. *The Politics of American Science*. Harmondsworth, Middlesex: Penguin. 1. udg. under titlen *The Politics of Pure Science*: New American Library, 1967.
- Gross, Horst-Eckart, 1978. "Das sich wandelnde Verhältnis von Mathematik und Produktion", pp. 226-269 in P. Plath & H. J. Sandkühler, *Theorie und Labor. Dialektik als Programm der Naturwissenschaft*. Köln: Pahl-Rugenstein.
- Hardy, Godfrey Harold, 1967. *A Mathematician's Apology*. With a Foreword by C. P. Snow. Cambridge: Cambridge University Press.

- Horowitz, Ellis (ed.), 1983. *Programming Languages: A Grand Tour*. A Collection of Papers. Berlin-Heidelberg: Springer.
- Høyrup, Jens, 1986. [Review af H. Gericke 1984]. *Zentralblatt für Mathematik* 565, 7.
- Jarvad, Ib Martin, 1981. "Friedliche Koexistenz—Utopie oder Wirklichkeit?". *Manuskriptkopi*, Roskilde Universitetscenter.
- Jungk, Robert, 1958. *Brighter than a Thousand Suns. A Personal History of the Atomic Scientists*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- Kaldor, Mary, 1982. *The Baroque Arsenal*. London: André Deutsch.
- Kevles, Daniel, 1978. *The Physicists*. New York: Knopf.
- Klein, Felix, 1926. *Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik im 19. Jahrhundert*. 2 vols. (Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften, XXIV-XXV). Berlin: Julius Springer, 1926-27.
- Kudrow, Viktor, 1981. "Der wissenschaftlich-technische Fortschritt und die Schwächung der internationalen Stellung der USA". *Deutsche Außenpolitik* 26:6, 84-102.
- Lang, Serge, 1971. "A Mathematician on the DOD, Government, and Universities", pp. 51-79 in M. Brown (ed.), *The Social Responsibility of the Scientist*. New York: The Free Press/London: Collier-Macmillan.
- Lohne, J. A., 1972. "Harriot", *DSB VI*, 124-129.
- Mason, Stephen F., 1962. *A History of the Sciences*. Revised Edition. New York: Collier.
- Merton, Robert K., 1970. *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England*. New York: Harper and Row. 1. udg. i *Osiris* 4:2 (1938).
- Metropolis, N., J. Howlett & Gian-Carlo Rota (eds), 1980. *A History of Computing in the Twentieth Century*. New York: Academic Press.
- Morse, Marston, 1943. "Mathematics and the Maximum Scientific Effort in Total War". *Scientific Monthly* 56, 50-55.
- Neugebauer, Otto, 1933. "Babylonische »Belagerungsrechnung«". *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik. Abteilung B: Studien* 2, 305-310.
- Owen, D. B. (ed.), 1976. *On the History of Statistics and Probability*. Proceedings of a Symposium on the American Mathematical Heritage ... May 27-29, 1974. New York & Basel: Marcel Dekker.
- Perkins, John H., 1978. "Reshaping Technology in Wartime: The Effect of Military Goals on Entomological Research and Insect-Control Practices". *Technology and Culture* 19, 169-186.
- Perlo, Victor, 1974. *The Unstable Economy: Booms and Recessions in the U.S. since 1945*. 2nd edition. New York: International Publishers. 1. udg. 1973.

- Proc... 1920: Comptes rendus du Congrès International des Mathématiciens (Strasbourg, 22-30 Septembre 1920). Toulouse 1921. Reprint Nendeln, Lichtenstein: Kraus Reprint, 1967.
- Proc. ... 1986: *Proceedings of the International Congress of Mathematicians (August 3-11, 1986, Berkeley)*. American Mathematical Society, 1987.
- Rees, Mina, 1980. "The Mathematical Sciences and World War II". *American Mathematical Monthly* 87, 607-621.
- Rose, Hilary, & Steven Rose, 1970. *Science and Society*. Harmondsworth, Middlesex: Penguin. 1. udg. 1969.
- Rosen, Saul (ed.), 1967. *Programming Systems and Languages*. New York: McGrawhill.
- Rosser, J. Barkley, 1982. "Mathematics and Mathematicians in World War II". *Notices of the American Mathematical Society* 29:6, 509-515.
- Sammett, Jean E., 1969. *Programming Languages: History and Fundamentals*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.
- Schneider, Ivo, 1970. "Die mathematischen Praktiker im See, Vermessungs- und Wehrwesen vom 15. bis zum 19. Jahrhundert". *Technikgeschichte* 37, 210-242.
- Schöne, Hermann (ed., tr.), 1903. *Heron's von Alexandria Vermessungslehre und Dioptra. Griechisch und deutsch. (Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia, vol. III)*. Leipzig: Teubner.
- Shorey, Paul (ed., tr.), 1978. *Plato, The Republic*. With an English Translation. 2 vols. (Loeb Classical Library 237, 276). London: Heinemann / Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1978, 1963. 1. udg. 1930, 1935.
- Shumaker, Wayne, 1972. *The Occult Sciences in the Renaissance. A Study in Intellectual Patterns*. Berkeley etc: University of California Press.
- Soboul, Albert (ed.), 1976. *Textes choisies de l'Encyclopédie*. Deuxième édition. Paris: Éditions Sociales.
- Taton, René, 1974. "Monge", *DSB IX*, 469-478.
- The AMRC Papers*. By Science for the People, Madison Wisconsin Collective. Madison, Wisconsin: Science for the People, 1973.
- Wallis, W. A., 1980. "The Statistical Research Group, 1942-1945". *Journal of the American Statistical Association* 75, 320-335.
- Waters, D. W., 1976. *Science and the Techniques of Navigation in the Renaissance*. (Maritime Monographs and Reports, No. 19). Greenwich: National Maritime Museum.
- Wernicke, J., 1982. "Zur Forschungsförderung im Wehrtechnischen Bereich der Elektronik". Beitrag zum Symposium »Ossietsky-Tage '82: Militärische Einflüsse auf die Wissen-

schaft und militärische Anwendung ihrer Ergebnisse«, Oldenburg, 3.-4. Mai 1982.
Stencileret manuskript.

Wiener, Norbert, 1964. *I Am a Mathematician. The Later Life of a Prodigy*. Cambridge, Mass.:
M.I.T. Press.

Wolf, A., 1952. *A History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century*.
Second Edition Revised by D. McKie. London: Allen & Unwin. 1st ed. 1938.

Youschkevitch, Alexander A., 1974. "Markov", *DSB IX*, 124-130.

Youschkevitch, A. P., 1971. "Euler", *DSB IV*, 467-484.

Ib Thiersen

Det mekaniske verdensbilledes kultur

Sammenhængene mellem (natur-)videnskab, historie og kunst

1. Det kultursociologiske problem

Den første verdenskrig var det tyvende århundredes første traumatiske chok. Den kom til at demonstrere den oplyste fremskridtstros undergang— og til at vise at der ikke eksisterede en sammenhæng mellem fornuft og moral. Nogen moral kunne ikke længere gyldiggøre de skete masse mord. Fra nu af måtte det vesteuropæiske menneske affinde sig med at fornuft var en ting og moral et andet forhold.

Nogen egentlig besindelse fulgte ikke efter. Dertil var chokket og dertil var sammenbruddet for stort. Revolutionær uro gjorde sit til, at da afmatningen endelig satte ind i løbet af 1923-24, så blev det til selvforglemmelsens feberagtige aktivitet. Den kortvarige højkonjunktur gav al nærin-

gen til det kulturelle hukommelses-tab—smerten var blevet for voldsom til at kunne udholdes.

Men det skulle også vise sig at det hektiske forsøg på selvforglemmelse kun var et kort pusterum.

Fornyet verdenskrise, massiv økonomisk forarmelse og de fascistiske magtovertagelser kom til at sætte den fornyede kulturelle dagsorden. Totalitarismens problem, ikke blot i Italien og Tyskland, men også den stalinistiske magtovertagelse i Sovjetunionen trak sine spor, og var blevet udfordringen i kølvandet på den ubesindede første verdenskrig.

Snart efter fulgte det næste traumatiske chok. Og denne gang med et så massivt omfang at chok fulgte på chok. Ikke blot producerede den vesteuropæiske kultur påny en verdenskrig, men denne gang også i sin hidtil mest barbariserede form. Krigens ansigt var ikke længere begrænset til massedrab mellem de krigsførenes stridskræfter, men involverede også nu massedrab på civilbefolkningerne. Terror mod den totale befolkningen var blevet til en del af krigens væsen.

Men rædslen strakte sig langt videre end dette. For krigens chokerende efterspil blev opdagelsen af hvad det nazistiske regime havde været i stand til. Auschwitz efterlod sit grusomme ar på den kulturelle nethinde, som ikke længere lod sig udslette. Med Auschwitz havde den vesteuropæiske kultur og det vesteuropæiske menneske demonstreret hvad det var i stand til.

Denne gang var det ikke længere muligt at undvige besindelsen. Dertil var chokket for stort, og dertil var arret for synligt et vidnesbyrd om det kulturelle forfald der var sket. Selvbesindelse som selvopgør var blevet en enkel og bydende kulturel nødvendighed.

Besindelsen tog mange former. Sin første form blev de nationale retsopgør, for derefter at slå over i den internationale kulturelle selvret-

færdiggørelse gennem krigsforbryder-processerne i Nürnberg. Nok markerede disse noget nyt—men dog også noget gammelkendt. Domfældelsen af enkelte hovedpersoner, som skyldige i forbrydelser mod menneskeheden, angav utvetydigt overtrædelsens omfang. Men også den gammelkendte form, den kulturelle afregning gennem anklager mod enkeltpersoner.

Med domfældelsen af det nazistiske regimes hovedpersoner havde det internationale retssamfund fuldbyrdet sin besindelse og sin retfærdiggørelse.

Men langt mere stod på spil. For den besindelse der nu satte ind havde ganske vidst sin årsag i den anden verdenskrigs grusomheder og Auschwitz's uomgængelige realitet. Men bag Auschwitz og den anden verdenskrig lå begyndelsen, den første verdenskrig, og derefter dennes følge, den tiltagende civile voldeliggørelse i den første verdenskrigs efterspil, den revolutionære periode fra 1918 til 1923. For derefter at slutte i forspillet til den anden verdenskrig, de totalitære regimers fremkomst.

I sin helhed var dette den kulturelle fremkomst af værdier der legitimerede voldens udslettelse af alt anderledes. Den første og anden verdenskrig, de totalitære regimer, undertrykkelsen af den revolutionære uro såvel som forfølgelserne i både Sovjetunionen og Tyskland udtrykte en og samme kulturelle konsekvens. Nemlig forskelligheden undergang i ensretningens massive kultur.

Dette var det kulturelt nye. Frem til det tyvende århundredes begyndelse havde den vesteuropæiske kultur, trods mange forskelligheder, dog været ensartet i sit udsyn. Til trods for forskelligheden i svaret, om det var oplysningskulturens egen optimisme eller romantikkens forsøg på at finde udveje overfor pessimismen til oplysningens påståede projekt, så var det dog en kulturel optimisme. En klippefast tro på menneskets fornuft, på dets altid værende moralske sindelag, på frihedens stadig ekspanderende

de mulighed. Og først og sidst en stadig tillid til fremskridtets ubrudte fremmarch, i tillid til menneskets oplyste anvendelse af såvel sin moral som sin fornuft.

Det var hele dette kulturelle udsyn der havde fået sit grundstød. Og ikke blot gennem den kulturelle udfordring i de totalitære regimers forsøg på legitimering. Udfordringen stak langt dybere, eftersom selve den vesteuropæiske kulturs egen praksis havde demonstreret, at der ikke herskede meget moral og megen fornuft. Verdenskrigene såvel som muligheden af Auschwitz havde demonstreret menneskets skrøbelighed uden om al kulturel legitimering.

Det var dette der krævede den kulturelle besindelse. Der var ikke behov for hverken undskyldninger eller anklager—men den sobre besindelse over hvad det var der var sket.

Sin første udformning fik selvbesindelsen i Th. W. Adorno's og Max Horkheimer's *Dialektik der Aufklärung* (1944). Besindelsen og anvisningen var entydig.

Besindelsen var den kapitalistiske industrialisering. Denne var sket i lønarbejdets form, dvs. gennem bytteværdi og vareform. Præcist bytteværdi-abstraktionen blev omdrejningen. På den ene side var den et økonomisk princip, som grundlag for merværdi-produktionen. Og på den anden side var den samtidig et kulturelt princip, som forudsætningen for produktionens fortsatte ekspansion.

Og dette blev til anvisningen. For som kulturel abstraktion blev bytteværdien transformeret til den instrumentelle fornuft. Som målrettet fornuft tilgodeså den udvendige naturbeherskelse. Dette var både forudsætningen for den naturvidenskabelige revolution i det syttende århundrede der havde indvarslet den efterfølgende industrielle revolution. Og grunden for dens transformation til kultur. I lønarbejdet sociale sfære

herskede overalt tilpasningen, dvs. den indvendige naturbeherskelse. Og dette kunne kun ske gennem en omfattende rationalisering, der begrundede og legitimerede lønarbejdets afkald.

Den fornuft der således blev oplysningens fornuft, var for Adorno og Horkheimer således intet andet end bytteværdiens abstraktion, forvandlet til instrumentel fornuft. Og denne var som kultur i sig selv identisk med afkaldets indhold.

Fornuften var som kultur dermed også blevet svanger med afkald, dvs. indadvendt aggression. Dens kulturelle udformning var således blevet til selvdestruktionens legitimering. Og denne kunne kun bæres i afmagtens skygge gennem periodevise udbrud i dens destruktive anvendelse. De stadig mere brutaliserede krige, sluttende med de to verdenskrige, var for Adorno og Horkheimer således selve den kulturelle følge af kapitalismen. Dens indhold var bytteværdi-abstraktionen. Dens form den instrumentelle fornufts kultur.

Anvisningens besindelse var derfor også det ideologi- og kulturkritiske opgør med den instrumentelle fornuft—dvs. den naturvidenskabelige rationalitet.

Denne marxistisk inspirerede kulturkritik kom imidlertid ikke til at stå alene.

Kort efter, i 1945, fulgte Poppers *The Open Society and Its Enemies*. Dette var den naturvidenskabelige rationalitets forsøg på et kulturkritisk opgør med de tendenser i den vesteuropæiske kultur, der lige så nødvendigt blev set som årsagen til de totalitære regimers gennembrud i det tyvende århundrede.

Også her blev årsagen søgt i rationalitets-begrebet, men nu ud fra dets modsætning til irrationalitet. De kulturelle fænomener der for Popper havde ledt frem til fascismens og stalinismens totalitære regimer blev i

snæver forstand set som irrationelle ideologier. Dvs. ideologier der enten legitimerede sin ensretning gennem race-begrebet eller gennem den historiske nødvendighed. For begges vedkommende således ideologier der postulerede en overgribende helhed, et væsen bag virkelighedens mangfoldighed, der legitimerede den faktiske forekommendes forskelligheds ensretning og udryddelse.

Dermed var modsætningen mellem rationalitet og irrationalitet, det dirigerende perspektiv bag *The Open Society and Its Enemies*, også lagt klart op.

På den ene side den irrationalistiske kultur. Dette var den essentialistiske tænkning, dvs. den tænkning der så et subjekt for den historiske udvikling, og som derfor skelnede mellem fænomenernes tilsyneladende overflade eller skin overfor deres grund eller væsen. Denne essentialisme eller irrationalisme var for Popper ensbetydende med historisme, den opfattelse, at den historiske udvikling havde et indhold og en mening der gav udviklingen både retning og mål. Det var præcist i denne tænkning og denne kultur totalitarismen grundlagde sig selv. For det var nu muligt, med historien som Dommer, at gribe ind i historien og tvangsmæssigt retlede den i sin gang. For Popper havde alle totalitære forsøg historismen som sin ideologiske og kulturelle baggrund—uden denne mulighed kunne ensretningen og undertrykkelsen ej heller legitimeres. Først historismen, som irrationalitetens rendyrkede form, ledte til fornuftens og moralens undergang i ensretningens tvang.

Overfor irrationalitetens kultur stod rationalitetens kultur, den kultur der for Popper funderede sig selv i det åbne og tvangsfrie argument. Og dette argument, som åbent og tvangsfrit, kunne kun være det empiriske og sagsbundne argument: overfor sagens egen rationalitet veg al ideologi. Først den insisterende hævde af den naturvidenskabelige rationalitets egen selvbegrundelse kunne for Popper derfor også kun lede til den reale

frihed. Demokrati og frihed var ubrydeligt blevet bundet sammen med den naturvidenskabelige rationalitet. Mens omvendt al form for tænkning der begrundede sig i det historiske væsen var blevet til irrationalitetens ideologi—og totalitarismens egen kultur.

Med Adorno's og Horkheimer's besindelse i 1944, og Popper's i 1945, var besindelsens kulturelle modsætning således også ridset klart op.

Endelig fulgte, i 1946, Bertrand Russell's besindelse, i dennes *History of Western Philosophy*.

Også her var der tale om den videnskabelige rationalitets selvkritik, men denne gang forskudt til den kulturkritiske og filosofiske refleksion. Omend der også her var tale om en total kulturel-filosofisk refleksion, så var kernen koncentreret til den rene modsætning mellem rationalitet vs. irrationalitet. Og her i den kulturelle geneses egen entydige modsætning. Nemlig mellem oplysningens empirisme, karakteriseret ved hovedfigurerne Locke og Hume, overfor romantikkens irrationalisme, først og fremmest brændmærket gennem Rousseau, og dennes senere inspiration af udviklingen fra Kant frem til Hegel. Modsætningen var for Russell enkelt og bydende. Enten det sobre rationelle argument, der holdt sig indenfor den rationelle overvejelses ramme. Eller også lidenskabens ubundne stemme, der overalt søgte det grænseløse—og som i sin bestræbelse mod det storslåede samtidig realiserede den dybe menneskeforagt.

For Russell var det en modstilling der skematisk trak sine konsekvenser op til idag. Locke var den kulturelle forgænger for de politiske figurer som Churchill og Roosevelt, mens Rousseau blev til det kulturelle paradigme for totalitarismens ensretning og menneskeforagt, ført og fremmest symboliseret ved figuren Hitler.

Dermed var modsætningen utvetydig og klar. Demokratiets og frihedens kulturelle grundlag lå i den videnskabelige erkendelse, først og

fremmest karakteriseret ved Locke og Hume. Totalitarismen såvel som fascismens ensretning og tvangsmæssige undertrykkelse havde omvendt sit kulturelle grundlag i romantikkens påståede irrationalisme, først og fremmest karakteriseret ved Rousseau. Og det indhold der var årsag til det tyvende århundredes kulturelle og sociale katastrofer.

Dermed havde den kulturelle selvbesindelse også ført sig selv til ende. Alternativerne var klare.

På den ene side Adorno's og Horkheimer's marxistisk inspirerede kulturkritik, der så den naturvidenskabeligt inspirerede instrumentelle fornuft som det kulturelle grundlag for det tyvende århundredes katastrofer. Givet en kapitalistisk organiseret produktion, givet bytteværdi-abstraktionen som grundlag for den kulturelle forståelse—så blev den kulturelle og sociale konsekvens også større og større afkald i fortrængningen af den indvendende natur. Slutresultatet var udkanaliseringen af den fortrængte aggression i en stadig mere og mere barbarisk social kultur.

Og på den anden side Popper's og Russell's liberalistisk inspirerede kulturkritik, der fremhævede det rationelle arguments potentielle åbenhed. Det kulturelle forfald skyldtes ene og alene anslagene mod den videnskabelige rationalitet, som den vesteuropæiske kultur også havde i sin egen tradition. Disse var enten, for Popper's vedkommende, det marxistisk inspirerede historie-begreb, eller, for Russel's vedkommende, romantikkens æstetisk betingede opfattelse af den menneskelige lidenskab eller følelse som overgribende overfor den snævre fornuft.

Demarkations-linierne var således tydelige og skarpe. På den ene side det naturvidenskabelige argument, som garanten for demokrati og frihed, overfor historiens og kunstens forståelse, som kulturelle årsager for det tyvende århundredes forfald. Og på den anden side, fremhævelsen af såvel

den historiske som kunstneriske forståelse som grundlag for al ægte frihed og al gennemført demokrati, overfor det naturvidenskabeligt snævre argument, der som instrumentel fornuft var kulturel medvirkende årsag til det tyvende århundredes katastrofer.

Forsinket gennem den kolde krigs forgiftende kulturelle atmosfære nåede de kulturelle besindelser først deres delvise konfrontation og delvise afklaring i midten af 1960'erne. Det blev opgøret mellem Frankfurter-skolens marxisme-opfattelse på den ene side overfor positivismen på den andenside, markeret gennem de store metode-diskussioner mellem Adorno og Popper.

Tilsyneladende blev det en konfrontation der sluttede med Frankfurter-skolens totalitets-begreb, og den heri involverede fornufts-kritik, som det mest adekvatte udgangspunkt for videnskabelig og kulturel refleksion. Den umiddelbare følge så da også ud til at bekræfte dette forløb. Positivismen, og i særdeleshed den logiske positivismes bestræbelse hen mod enhedsvidenskaben, ophørte ganske enkelt med at eksistere som paradigme for de enkelte videnskaber. Samtidig med at Frankfurter-skolens marxisme-forståelse overalt vandt frem. Og i ly af konfrontationernes poler, den mere neutrale, men massive fremkomst af videnssociologien.

Men det var også kun en tilsyneladende status. For det langstrakte kulturelle opgør mellem den klassiske naturvidenskabeligt inspirerede fornuft overfor den historiske og kunstneriske forståelse holdt kun en kortvarig pause. Marxismens gennembrud som videnskabelig teori og metode, i Frankfurter-skolens skikkelse, skulle vise sig at være et fænomen af kortvarig betydning. De klassisk naturvidenskabeligt inspirerede akademiske miljøer var ganske enkelt for solidt forankret i det omgivende samfund til at et sådant nybrud kunne bane sig vej. Allerede fra midten af 1970'erne var marxismen som teori og metode under afvikling. Fra

begyndelsen af 1980'erne overvintrede den igen kun som nicher indenfor den teoretiske og metodiske diskussion.

I stedet blev det en variant af den videnssociologiske betragtning der kom til at dominere det teoretiske og metodiske perspektiv.

Med grundlag i Mannheim's *Ideologie und Utopie* var skabt det gennembrud for videnssociologien, der muliggjorde dens indoptagelse i den herskende empiristiske erkendelsesteori. Resultatet viste sig i 1960'erne med den politiske teoris endegyldige udvikling til systemteori. Dens sluttelige form blev paradigmatisk anskueliggjort i Deutscher's *The Nerves of Government* fra 1963, med den lige så sigende undertitel, *Models of Political Communication and Control*.

Systemteoriens inderste kerne var kybernetikkens sandsynlighedsberegninger. Grundlaget var spilteoriens formalisering som model for beslutningstagning i løbet af den anden verdenskrig. Dens mulighed for praktisk politisk teori blev endegyldigt etableret med den elektroniske databehandlings indtog i al informations-bearbejdning fra slutningen af 1960'erne. Dermed var der imidlertid også faldet en kulturel afgørelse, der trak sine spor tilbage til den kulturelle besindelses rødder i åbnings-debatterne fra 1944, 1945 og 1946. For systemteoriens procesbehandling af information kan kun lade sig gøre indenfor en ramme, hvis totale fundament var antagelsen af den empiristiske erkendelsesteori. Og mere end dette. For systemteoriens anvendelse som beslutningsgrundlag er samtidig fuldbyrdelsen af den logiske positivismes tilgang til virkeligheden, verden som en logisk konstruktion eller efterrationalisering. Systemteoriens gennemslag som grundlaget for al videnskabelig erkendelse og kulturel forståelse er således en kulturel besindelse, hvis indhold utvetydigt trækker sine rødder tilbage til henholdsvis Popper og Russell.

Men er der således tale om en foreløbig—endegyldig—kulturel afgørelse, så er der også tale om en besindelse, der ikke har åbnet sig op for afgørelsens kulturelle indhold.

Metodekontroverserne, til trods for deres polemiske voldsomhed, var en konfrontation *pro et con* totalitetsbegrebet og dets involverede samfundssyn. Derimod drejede konfrontationerne sig ikke om det naturvidenskabeligt inspirerede fornufts-begrebs involverede kultursyn. Nok blev den naturvidenskabelig fornuft som kultur stigmatiseret som borgerlig. Dvs. det naturvidenskabeligt inspirerede fornufts-begreb blev analyseret ud fra dets sociologi, og affærdiget som instrumentel kun gennem socio-økonomiske analyser. Fornuft blev instrumentel udefra, i dens samordning med bytteværdiabstraktionen.

Men selve kernen i det naturvidenskabeligt-empiristiske fornufts-begreb blev stående uantastet. Om fornuftens empiristiske begrundelse som objektiv herskede der ingen synderlig uenighed. Dette var så sige det minimum af enighed der garanterede diskussionens mulighed.

Dermed havde diskussionen allerede forandret natur. Med den uantastede antagelse af fornufts-begrebets empiriske implikationer var dialogens indre natur vendt om. For allerede fra starten måtte den kritiske teori anvende tid på smagløse angreb og sidestillinger med stalinismen og fascismen. Og havde faktisk allerede fra begyndelsen kulsejlet sin egen kritik.

Hensigten med denne artikel er en indledning til dette forsømte opgør. Den empiristiske fornuft, dens objektivitets-ideal og dens antagelse om virkeligheden som en konstruktion eller efterrationalisering, finder sted indenfor en total ramme af specifikke kulturelle antagelser.

Disse er hidtil ikke blevet gjort til genstand for en kulturel refleksion. Frankfurter-skolen kritik havde sin kritikbase i bytteværdiabstraktion: dette

var en socio-økonomisk kategori, der *de facto* kom til at forholde sig reduktionistisk til fornufts-begrebets egen immanente kultursociologi.

Underforstået er artiklens hensigt således også en bestræbelse hen mod besindelsens uafsluttethed. Endnu eksisterer vi således i en kultur der ikke magter, ikke evner og ikke vil besinde sig på sine egne rædsler.

Hvilket blot gør besindelsens krav så meget desto mere påtrængende.

2. *Besindelsens kulturelle refleksion*

Den kulturelle refleksion der blev foretaget af såvel Adorno og Horkheimer som Popper og Russell opererede for alles vedkommende med et underforstået dobbelt sæt af præmisser.

For dem alle gjaldt besindelsens centrale dogme, at verdenskrigene såvelsom koncentrationslejrenes tilsynekomst i den vesteuropæiske kulturs horisont udgjorde et forfald til barbariets ukendelighed. Et forfald der for dem alle blev sidestillet med et forfald til tidligere tiders destruktive brug af aggressionens volds-potentiale.

For dem alle blev besindelsens kerne derfor også spørgsmålet til oplysningens projekt. Dvs. hvad gik galt eller hvad forvrængede oplysningsprojektets intention, at anvende fornuften kritisk, for at skabe frihed, fremskridt, velfærd og velstand. Hele besindelsens retning har således været rettet imod oplysningsprojektets intentionalitet. Frihed, fremskridt og velfærd var oplysningsprojektets intention—og en intention det så sig i stand til at skabe gennem fornuftens praksis. Og denne antagelse er stort set ikke blevet problematiseret. For Popper og Russell eksisterede antagelsen ubrudt—det destruktive moment blev her tilføjet gennem irrationa-

litetens tilsynekomst. Og for Adorno og Horkheimer gennem bytteværdi-abstraktionens forvandling af den "oprindelige" fornuft til den instrumentelle fornuft.

Tilbage står således det åbne—og endnu ikke reflekterede—spørgsmål til den kulturelle fornufts egen metafysik. Dvs. hvilken antagelse oplysningsprojektets fornuft-begreb immanent var bærer af—for også at kunne gøre dem eller disse til genstand for refleksionens kritik.

Dette var den ene fælles underforståethed mellem Adorno og Horkheimer, Popper og Russell, forekomsten af en oprindelig "fornuft", der i sig selv ikke er bærer af metafysiske antagelser.

Den anden antagelse var selve besindelsens forudsætning, antagelsen om verdenskrigenes og koncentrationslejrenes tilsynekomst på den historiske dagsorden som udtryk for et forfald til tidligere tiders barbari.

At det tyvende århundredes katastrofer var udtryk for et forfald og en regression er hævet over enhver tvivl. Og at alene katastrofernes faktiske forekomst nødvendiggør den kulturelle besindelse—også dette er udenfor enhver tvivl. Men spørgsmålet er samtidig om verdenskrigene og koncentrationslejrene—om de var udtryk for et forfald til tidligere tiders barbari. Det åbne spørgsmål er modsætningen, om verdenskrigenes og koncentrationslejrenes indtog fremfor at være et tilbagefald til tidligere tiders barbari, tværtom installerede noget nyt i den vesteuropæiske kultur, nu set for første gang.

Udviklingen op gennem den kolde krig lod ikke krigs-stemningens oppiskethed aftage. Tværtom blev tænkning i fjendebilleder til den kulturelle hverdag. Krigen selv blev, efter den anden verdenskrig, til social hverdag. Korea-krigens udbrud i umiddelbar tilslutning til den anden verdenskrig lod krigen stivne i hverdagens normalitet. Den fortættede stemning i det delte Tyskland, den kolde krigs udbrud i forbindelse med

Berlin-blokade, dannelse af de to alliancer, Warzwava-pagt og NATO, hyppige scenarier over den tredje verdenskrigs mulighed: alt var således en omgang med såvel krig som fjendebillede som en integreret bestanddel af hverdagen.

Selv den hastige overgang til velfærds kapitalismens tilsyneladende overflod opløste ikke fjendebilledets forstenede normalitet. Efter afslutningen af det franske engagement i Indokina blev dets sidste retræte-post i Algier til den næste bekræftelse på voldens barbari.

Det skulle imidlertid blive Indokina eller Vietnam der igen bekræftede den rutineagtige omgang med voldens destruktivitet.

Endnu engang blev den vesteuropæiske kultur konfronteret med en krig og en realitet, hvor systematiske mord og terrorisering kastede deres lange mørke skygger.

Men denne gang med en forbløffende træghed i genkendelsen af mordet og terroren. Retfærdiggørelsens slør af efterrationalisering lod mordene og terroren blive acceptable kulturelle omkostninger—for den påståede kulturelle bevarelse. Først en omfattende protestbevægelse rystede det efterhånden fast forankrede fjende-billede, der legitimerede mordet af det anderledes.

Selvom protestbevægelserne bragte forargelsen frem, så forandrede det intet ved fjende-billedets kulturelle normalitet. Skærpet oprustning lod terrorbalancens egen projektive forlængelse af den kulturelle hverdag blive til normalitet—også for nationernes kommunikation.

Begrænsede krige, guerilla-krigsførelse som terrorisering mod såvel enkeltpersoner som befolkningsgrupper blev fra nu af underlagt efterrationaliseringernes legitimitet. Forargelsens egen moralske stemme blev sjældnere og sjældnere, i samme takt som voldens og terrorens normalitet tog til.

Denne udvikling var da også i sig selv årsag til problematiseringen af denne grundlæggende antagelse, i.e., fjendebilledets ritualisering som et forfald til tidligere tiders barbari. Med størst redundans skete det i Marcuse's forfatterskab, først med *Eros and Civilization* fra 1955, senere med den skærpede kritik i *One-Dimensional Man*, fra 1964.

Eros and Civilization var den massive fremhævelse af de omkostninger den vesteuropæiske civilisation som borgerlig kultur havde ført med sig. Det realitetsprincip som kendetegnede den kapitalistiske industrialisering betød en mer-undertrykkelse for den enkeltes sociale hverdag, der kulturelt voldte større og større omkostninger. Voksende ufrihed i skæret af tilsyneladende velfærd kunne kun sones gennem voksende projektion af selvundertrykkelsens omkostninger. I samme takt som den enkelte måtte blive mere og mere barbarisk overfor sit eget liv og sin egen natur, i samme takt blev den enkelte kulturelt mere og mere afhængig af det kulturelt stabiliserende fjendebillede. Volden og terroren havde dermed holdt sit massive kulturelle indtog—for første gang i den vesteuropæiske civilisations udvikling.

Det samme perspektiv gennemtrængte temaet i *One-Dimensional Man*. Perspektivet var her forskudt til fornuftens såkaldte rationalitet—og de omkostninger som den særlige vesteuropæiske rationalitet førte med sig. Dvs. samme analyse som i *Eros and Civilization*, men nu gennemført indholdsmæssigt over fornuftens egen rationalitet.

Omend Marcuse's forfatterskab var solidt forankret indenfor Frankfurter-skolens kritiske tradition, så var det dog også her med de første radikale analyser af hidtil ikke reflekterede kulturelle antagelser.

Det grundlæggende problem var selvsagt den eskalerede anvendelse af vold og terror i den sociale og kulturelle hverdag. Endnu så Marcuse det indenfor civilisationskritikkens traditionelle rammer, dvs. diskussionerne omkring moral og fornuft. Men allerede tidligere havde Mumford

sprængt rammerne, og anslået det højtudviklede industrisamfund egen socio-økonomiske modsætning.

Dette skete første gang i *Technics and Civilization*, fra 1934. Og her herskede ingen tvivl. Det genuint nye i den vesteuropæiske kultur var fremfor alt teknikens begreb. Endnu formet i sin kim gennem 1100- og 1200-tallet, så fik det sin fulde udformning samtidig med den naturvidenskabelige revolution i det syttende århundrede. Og teknikens begreb i sig selv indeholdt det ritualiserede volds-aspekt, ikke blot som teknikens mulighed, men som dets egen nødvendighed.

Endnu herskede i *Technics and Civilization* optimismen og håbet om den kulturelle tæmnings mulighed. Med udvidelsen til en trilogi, *The Myth of the Machine*, i henholdsvis 1962 og 1966, svandt håbet imidlertid. Den industrialiserede kultur, baseret på teknik, teknologi og teknologiske systemer, var i bund og grund baseret på vold—dels mod enkeltmenneskets natur og dels mod alt fremmedartet, som det forskellige. Volden, terroren, udslettelsen af det forskellige, det spontane, ville derfor også mere og mere komme til at blive de vesteuropæiske kultursamfunds kendetegn.

Marcuse og Mumford—to forfattere, men samtidig også grundlæggerne af brede forsknings-traditioner. Frankfurter-skolens kritiske teori på den ene side, og kredsen omkring *Technology and Culture* på den anden side—begge med det samme signal, at voldens ritualisering eller stigma var det nye. Og tilført fra den sociale og økonomiske organisering af vores produktive liv, hvad enten dette så blev analyseret økonomisk eller teknologisk.

De to verdenskrige, de utallige mindre krige, koncentrations-lejrenes ubegribelige menneskelige rædsel—såvel som den kulturelle ritualisering af fjendebilledets normalitet var det nye. For såvel Mumford som Marcuse betød den vesteuropæiske kultur installeringen af en kulturel og social

dødsdrift, der fortættede sit eget liv i takt med industrialiseringens udvikling.

Dermed har besindelsens foreløbige rækkevidde imidlertid også strakt sig frem til fornufts-begrebets anden lige så sammenhængende dimension, nemlig det kulturelle begreb om frihed.

For Popper var ærindet og anliggende ligetil. Det var historien og historismen der var opgørets retning: det var "historiens mening" som ideologi og propaganda der skabte og var budbringer af ufriheden i den vesteuropæiske kultur. Omvendt var den naturvidenskabelige rationalitet garantien for friheden. Og dette i en særlig form, nemlig som *piecemeal social engineering*. Den naturvidenskabelige fornufts oversættelse til teknik og teknologisk fornuft blev således, i sin skærpede polemiske form, til frihedens egen bestemmelse. Dette var det systematiske budskab i efterfølgen til *The Open Society and Its Enemies*, nemlig udvidelsen af 1937-artiklen til *The Poverty of Historicism*.

Modsætningen blev igen Adorno og Horkheimer. For dem var fornuft som instrumentel fornuft, dvs. fornuft som teknik og teknologi, selv blevet til ufrihedens budbringere. Tvangen lå i den instrumentelle fornuft—det var denne der ensrettede såvel den udvendige som indvendige natur. Og bragte friheden til fald gennem lønarbejdets sociale og kulturelle organisering.

Dermed har polemikken nok centreret omkring sammenhængene mellem fornuft og frihed, teknik og frihed, men igen uden den indre besindelses refleksion. Dvs. eksisterer der i fornufts-begrebets egen indre legitimering bestemte former for frihed og ufrihed, der kulturel kan eller vil udvirke sine egne sociale betingelser.

Kun Russell kom skitse-mæssigt i nærheden af en egentlig refleksion, og da udelukkende i den negative polemiske form. Her var modsætningen

entydigt valgt mellem oplysningstidens egen selvforståelse i den naturvidenskabelige empirisme overfor romantikkens oprør præcist imod denne kultur. Dvs. en modstilling mellem en kultur der på den ene side så fornuftens frihed i lidenskabernes selvindskrænkning, overfor en kulturel kritik der krævede fornuftens frihed sådan bestemt, at mennesket eksisterede med et råderum for sin egen forvaltning af sine lidenskaber.

Dette var den massive modstilling, med den lige så massive negative afgrænsning. Romantikkens fremhævelse af menneskets ret til autonomi blev til den forvrængede kulturelle genese af totalitarismens kultur. Mens omvendt selvafkaldets kultur blev til demokratiets sande indhold og dets barsel af det kontinuerlige fremskridt.

Tydeligst kommer hele selvbesindelsens nødvendighed således frem i Russell's korte filosofihistoriske skitse i *History of Western Philosophy*.

Den indeholder såvel den epokale afgrænsning som det overgribende kulturelle argument.

Den efterfølgende diskussion vil derfor også rette sig mod den og de afgørelser der blev truffet med Russell's *History of Western Philosophy*. Dels har besindelsen omkring historien og historismen, i sammenhæng med Horkheimer og Adorno på den ene side og Popper på den anden side, været genstand for så omfattende debat, at videre diskussion synes unødvendig. Men dels, og afgørende, har Russell, skitse-mæssigt og negativ, angivet den kulturelle refleksions hele rækkevidde. På den ene side sammenhængene mellem fornufts-begreb og voldsprojekt og på den anden side sammenhængene mellem fornufts-begreb, friheds-begreb og forholdet til enkeltmennesket. Og præcist her begrundes hele nødvendigheden af den kulturelle besindelse sin egen berettigelse.

Afgørelsen var modstillingen mellem Locke og Rousseau. Med Locke som den påståede garant for den sobre videnskabelige kultur, der garan-

terede frihedens indtog, overfor Rousseau's lidenskabsfyldte oprør, der var den påståede begyndelse til menneskeforagten og umenneskelighedens kultur.

Besindelsens begyndelse vil derfor også rette sig mod disse to tendenser i den vesteuropæiske kultur.

3. Den kulturelle modernitets friheds-begreb

Grundlaget for modernismens kulturelle gennembrud var den naturvidenskabelige revolutions langstrakte udvikling gennem hele 1600-tallet. Dens indhold var revolutioneringen af natursynet og verdensbilledet, indledt med Kopernikus og foreløbigt afrundet med Newton's *Principia Mathematica*. Dens metafysik blev til det mekaniske verdensbillede, den antagelse at universet var udtryk for et sæt af gensidigt afhængige naturlove, der i universets helhed udgjorde en mekanisk sammenhæng, der kunne sammenlignes med den mekaniske sammenhæng i et ur-værk. Det var et verdensbillede der, på samme måde som ur-værket, var lukket, og som krævede en skaber for både at skabe ur-værket såvel som at trække op og vedligeholde det. Bag det mekaniske verdensbillede, som dets egen selvbegrundelse, stod således Gud som Skaberen og Den Store Mester, der som den opfindsomme ingeniør overvågede og garanterede mekanikkens funktion.

Dette var grundantagelsen bag Newton's *Principia Mathematica*, og den grundantagelse som vennen, kemikeren Robert Boyle, populariserede i en række skrifter. Og den sammenhæng som en snæver kreds i Royal Society, omfattende Newton, Boyle og John Locke, stod som talsmænd for.

Det var således en grundantagelse der hvilede på en kulturel syntese mellem den naturvidenskabelige erkendelse og den åbenbarede teologi. Den naturvidenskabelige kultur var i bund og grund undfanget indenfor de kristne værdiforestillingers ramme.

Det var denne sammenhæng der blev udformet som en syntese, omfattende erkendelsesteori, moralfilosofi og samfundsteori, udformet som en naturretsfilosofi, af John Locke.

Gennembrudsværket blev *An Essay Concerning Humen Understanding* fra 1690, der engang for alle udformede modernismens naturvidenskabelige erkendelsesteori. Den var samtidig, året forud, blevet udformet som en samfundsteori, i det naturretsfilosofiske hovedværk *Two Treatises Concerning Government*.

Det helt afgørende var begrebet om fornuft. Og her bevægede Locke sig ikke på original grund, men havde som hele sit grundlag Hobbes transformation af det mekaniske verdensbillede til en mekanisk sansepsykologi.

Grundlaget var enkelt. Natursynet i det mekaniske verdensbillede var den naturfilosofi der i begyndelsen af 1600-tallet var blevet udviklet af Galilei. Dette var perspektivet fra *Il Saggiatore*, sondringen mellem de primære og sekundære sansekvaliteter. De primære sansekvaliteter var massen slet og ret, eksklusivt opfattet som kvantitet i bevægelse. Bevægelse og struktur var massens eneste egenskab. De sekundære sansekvaliteter, derimod, var den formidling af massens bevægelse som de menneskelige organer skabte som bevidsthed. Farve, lyd, lugt, syn, smag såvel som berøring var egenskaber ved massen der ikke skyldtes denne, men udelukkende de menneskelige sanseorganers særlige beskaffenhed.

Som sansepsykologi blev sammenhængene imidlertid en anelse mere kompliceret, eftersom mennesket som fysiologisk mekanik også var udsat

for en indre påvirkning af sine sanseorganer. Dette var lidenskabernes indre bevægelse, der i lige så stort et omfang bestemte bevidstheden—som handling hen mod lyst og bevægelse væk fra ulyst eller ubehag.

Dermed var hele omfanget af den mekaniske sansepsykologi også afrundet. For Hobbes blev dette til et regelret lukket system. Den indre bevægelse, lidenskaberne, var bestemt gennem sine oprindelige påvirkninger—på samme måde som de udvendige påvirkninger var bestemt gennem massens bevægelse. I hele sit omfang var mennesket således blevet totalt determineret, og de facto reduceret til ren mekanisk passivitet.

Det var overfor denne eksklusive passivitet Locke satte ind—og ved at sætte ind overfor lidenskabernes begreb. Og etablerede fornuftens begreb, som aktivitetens mulighed.

Lidenskabernes krav overfor bevidstheden var kravet om en umiddelbar bevægelse, spontan og øjeblikkelig, som bevægelse hen mod lyst og bevægelse væk fra ubehag. Som umiddelbar handlings-omsættelse, hvad enten det drejede sig om bevægelse væk fra ubehag eller hen mod lyst, var denne spontaneitets umiddelbarhed også blevet truende for den enkelte. Den umiddelbare drifts-omsættelse til handling var for Locke blevet truende for selvopholdelsens egen elementære krav. I den umiddelbare omsættelse kunne den enkelte ikke længere tage vare på sin egen middelbare tilværelse, dvs. sikre sin selvopholdelse blot for den nærmeste fremtid—og var dermed truet i hele sin tilværelses egen grund.

Locke's epokegørende kulturelle præstation blev brydningen af Hobbes's dilemma overfor lidenskaberne, ved at indsætte fornuften som regulator og regulativt princip af lidenskaberne. Med fornuften kunne den enkelte udsætte lidenskabernes krav om umiddelbar handling, og udsætte lidenskabens objekt for eftertankens undersøgelse. Udsættelsen skabte eftertanken, og i eftertanken rådede bevidstheden både over fortidens erfaringer

og fremtidens muligheder. Dermed var eftertanken blevet muligheden for at træffe det valg, der var mest hensigtsmæssig for den enkeltes selvopholdelse.

Dette blev til frihedens mulighed. Med fornuften brød bevidstheden lidenskabernes umiddelbare herredømme, og skabte den enkelte eftertankens mulighed. I eftertankens mulighed var den enkelte dermed også sat fri fra lidenskabernes umiddelbarhed, og sat fri til selv at beslutte lidenskabernes mulige realisering.

Fornuft og frihed var således ikke blot uløseligt forbundne, men også lige så uløseligt forbunden til sin kontrast, lidenskabernes bevægelse. Frihed, som fornuftens eftertanke, skabte sig således som friheden fra lidenskabernes lyst eller ulyst.

Denne sammenhæng var snævert forbundet til sin egen forudsætning, i i sidste instans det mekaniske verdensbilledes metafysik. Tydeligst kom denne til orde i naturretsfilosofien, først formuleret i *Two Treatises*. Senere, i 1695, formuleret igennem som moralfilosofi i afhandlingen *The Reasonableness of Christianity*.

Som naturrets- og moralfilosofi var det ikke blot universet der var skabt af Gud—men også mennesket. Omend Locke i naturretsfilosofien udfoldede store anstrengelser for et bryde arvesyndens dogme, så blev det omvendt kristendommens dogme om Dommens Dag der blev konstitutiv for moralfilosofien. Og for erkendelsesteoriens endegyldige forvandling, gennem oversættelsen af fornuft som frihed i eftertankens udsættelse, til en kulturel syntese.

Med Dommens Dag som absolut sat dogme var begyndelsen imidlertid også lige så absolut sat. Og denne var menneskets fordrivelse fra Paradiset. Fra en oprindelig tilværelse i absolut harmoni, uendelig i sin evige for-

soning mellem mennesket og dets natur, blev mennesket kastet ud i en tilværelse i endelighed. Fra uendelighedens sorgløse forløsning blev menneskets grundvilkår forvandlet til den uomgængelige konfrontation med dødens altid værende mulighed. Udkastningen blev til den skærpede konfrontation med dødens mulighed ikke blot som en fjern mulighed, men et faktum der var stedseværende og pludseligt. Angsten for døden var blevet til endelighedens grundvilkår.

Men også i et særligt perspektiv. For i udkastningen fra Paradiset stod mennesket pludseligt overfor den uforsonede døds brudte mulighed. Ingen mulighed for en tilbagevendelse var længere mulig.

Denne mulighed viste sig imidlertid da Gud i sin barmhjertighed sendte Jesus Kristus til mennesket—og dermed gav det håbets mulighed, i frelsens og nådens skikkelse. I troen på Jesus Kristus, som en forpligtende tros-handling, blev mennesket gengivet løftet om tilbagevendelsen til Paradisets harmoni og evige forsoning.

Men det var et løfte om tilbagevendelsens mulighed der ikke blev givet uden betingelser. På Dommens Dag blev regnskabet gjort op over de handlinger det enkelte menneske havde foretaget. Dem der havde levet og handlet i overenstemmelse dels med foreskrifterne fra Mosebøgerne og dels i efterlevelse af Bjergprædikenens anvisninger var sikre på nåden. Dvs. på frelsen fra den uforsonede tilværelse i endelighedens skygge af uforløst død. Og omvendt, dem der havde brudt foreskrifterne og anvisningerne var sikre på straffen. Dvs. den uendelige lidelse i dødens uforsonede evighed.

Dette var Locke's moralfilosofi—og grundlaget for fornuftens indhold i eftertankens mulighed.

Den lyst og det ubehag, der var det altid værende indhold i lidenskabernes bevægelse, kunne nu regnskabsmæssigt gøres op i forhold til den absolutte lyst og det absolutte ubehag, den evige lykke eller den evige

død. Enhver af lidenskabernes lyster og bevægelser var således skematisk fastlagt i forhold til angstens muligheder. Og samtidig var foreskrevet hvorledes angsten, frygten for den uforløste død, kunne undgås.

Den udsættelse af lidenskaberne og den eftertanke som fornuften, som frihed, skabte for den enkelte, var således en udsættelse der muliggjorde regnskabet opgørelse. Dvs. om den forestillede handling ledte til frelsen—eller til fortabelsen. Frihedens fornuft var dermed blevet til eftertanken i forhold til døds-angstens absolut satte skygge. Og frihed forvandlet til beskyttelse mod døds-angsten.

Den radikale forvandling skete imidlertid i fornuftens begreb. For denne blev nu til som funktion af beskyttelse. Konfronteret med døds-angstens uundgåelighed, og forløsningens lige så absolutte mulighed i nådens frelse, så var friheden også fornuftens rationalisering af nådens handlingsmulighed. I ultimativ forstand blev fornuft således til som rationalisering af de handlingsmuligheder der stod åbne for mennesket—i frisættelsen fra lidenskabernes lyst.

Kulturelt var fornuften dermed undfanget som efterrationaliseringens frisættelse fra lystens oprindelse, mennesket. Og friheden tilsvarende udfyldt som friheden fra lystens trussel, og blevet til som kontrol over de selv samme lyster.

Som efterrationalisering var fornuftens primære funktion blevet selvindskrænkningens arbejde. Stillet overfor truslen om den uforløste død var selvindskrænkningen blevet til såvel som fornuftens og frihedens verdslige indhold.

Som efterrationalisering i beskyttelsen mod døds-angsten var fornuften trådt i selvopholdelsens indlysende tjeneste.

Som fornuft der i verdslig abstrakt forstand var frihedens samtidige grund var det imidlertid også en fornuft der blot var funktionel, dvs. var en efterrationalisering. Som verdslig fornuft, blot anvendt i sin egen

kulturelle forståelse, var fornuft blevet til blot og bar instrumentel fornuft. Men vel at mærke en instrumentalitet der var vendt imod menneskets egne drifter: det var disse der skulle bekæmpes. Og midlet hertil var fornuften. Derfor måtte den blive instrumentel, middel-orienteret. Men også mere end dette. For skulle den varetage sin funktion som efterrationalisering i beskyttelsen mod døds-angsten måtte den opfylde en dobbeltfunktion. På den ene side inddæmningen af lidenskaberne og på den anden side fremme af selvbeskyttelsens handlinger.

Denne dobbelte funktion rummede fornuftens begreb endnu ikke. Inddæmningen af lidenskaberne blev fortsat sanktioneret gennem den teologiske dogmatik. Endnu var det således en instans uden for fornuften der legitimerede fornuftens ene funktion. Omend fremmelsen af selvbeskyttelsens handlinger også blev sanktioneret af den teologiske dogmatik, så havde den nu fundet sin egen form i fornuftens begreb, som selvinteressens selvindskrænkning. Og heri realiserede fornuften sig for første gang som kun almen, som formal abstraktion.

Netop i denne formalitet kunne fornuften derefter påberåbe sig sin objektivitet, sin værdifrihed—i det omfang den legitimerende begrundelse var blevet underlagt det kulturelle hukommelsestab.

Bag erkendelsesteoriens tilsyneladende værdi-neutrale introduktion af fornuftens og frihedens fundament lå således en hel forgangen kulturs metafysik. Men også en indlejret forståelse, der rakte videre end dette for moralfilosofien uomgængelige ståsted. Dette afslørede sig frem for alt i naturretsfilosofien.

Også her var Locke blevet foregrebet af Hobbes—og blev selv til dennes fuldbyrder.

For Hobbes eksisterede den enkelte i naturtilstanden med en umistelig og ukrænkelig ret til selv at opstille målene for sin tilværelse. Og, som

konsekvens, med en lige så ubrydelig ret til selv at vælge midlerne til opnåelsen af målene.

Den enkelte, ligesom alle, eksisterede derfor med retten til selv at vælge mål og midler. Dette var naturtilstandens grundlæggende fundamentum.

Naturtilstanden var derfor også den enkeltes, som alles ret til absolut selvudfoldelse. Overfor alle eksisterede ingen indskrænkninger—ej heller i midlerne til opnåelsen af målene. Magtens middel, aggressionens forvandling til voldelig destruktivitet, var dermed også et legitimt middel. Aggression eksisterede uden bånd og uden indskrænkninger.

Da naturtilstanden var manglens tilstand, samtidig med at alle eksisterede med retten til alt, så var naturtilstanden for Hobbes blevet identisk med aggressionens forvandling til den kun voldelige destruktivitet. Anden mulighed blev ikke givet.

Derfor blev naturtilstanden for Hobbes også til den altid værende krigstilstand, i alles krig mod alle—og livsforventningerne tilsvarende små.

Eftersom der for Hobbes ikke eksisterede nogen konkret regulativ fornuft for den enkelte, så måtte overgangen til samfundstilstanden også blive tilsvarende drastisk. Leviathan var intet mindre end det kulturelle krav om det totale aggressions-afkald. Kun i den enkeltes totale afkald, i den lige så omfattende overføring af kontrollens aggression til eneherkeren, var bruddet overfor naturtilstanden mulig. Samfundstilstanden havde derfor også kun sin eneste begrundelse i totalitarismen.

Men ikke blot dette. For overgangen til samfundstilstanden, dvs. *Leviathans* tvangsherredømme, var sket som den enkelte accept af den nødvendighed naturtilstandens kaotiske forhold dikterede. Den enkelte eksistens i samfundet var derfor også blevet til nødvendigheden af aggressionernes vending imod den enkeltes eget selv—kun i tilpasningen og ensretningen var det sociale liv blevet muligt. Selvlærlæstelsen var derfor blevet den

kulturelle konsekvens. Selvdstruktion, legitimeret i efterrationaliseringens kultur, havde dermed holdt sit indtog.

Samfundstilstanden var dermed blevet skabt i en omfattende indvendig og udvendig destruktivitet. *Leviathan* herskede over al udvendig aggressivitet—men fordrede samtidig en total indvendiggørelse af aggressionen.

Leviathan herskede undtagelsesløs og de kulturelle skygger var selvsagt enkeltmenneskets nådesløse udlevering til despotiets favntag.

Denne voldsomme kulturelle destruktivitet var imidlertid ikke nødvendig for Locke. Og præcist heri kom Locke til at indvarsle den egentlige kulturbærende modernitet, gennem det langt mindre aggressions-afkald friheden nu blev kulturelt legitimeret i.

Den afgørende forskel var Locke's naturretsfilosofi. Det fundamentale skel blev det begreb om "naturlighed" der allerede nu blev medtænkt som det naturlige menneske. Den enkelte eksisterede i naturrettens begreb, dvs. med en umistelig og ukrænkelig ret til liv, frihed og ejendom.

Ejendommens ukrænkelighed var det fundamentalt nye. Den enkelte eksisterede i selvopholdelsens pligt, dvs. pligten til at arbejde for livets opretholdelse. Arbejdets indhold var naturens tilegnelse—og livets opretholdelse var selvsagt retten til det tilegnede arbejde. Som ejendom var dette dermed blevet ukrænkeligt.

Over såvel retten til liv, frihed og ejendom rådede ukrænkelighed—og retten til at råde bod på krænkelsen, hvis den fandt sted. For nu eksisterede i naturtilstanden en naturlig fornuft og moral, der satte grænserne for liv, frihed og ejendom, dvs. dets gensidige ukrænkelighed. I naturtilstanden var såvel fornuften som moralen i sig selv blevet til bærere af et nødvendigt aggressions-afkald—et forhold der var ukendt for Hobbes.

Fornuften var dermed blevet til den "naturlige" instans der begrundede aggressions-afkaldets nødvendighed. Fornuft som rationalitet var blevet den indre stemme der begrundede aggressionens delvise indad-vendelse.

Tydeligst kom dette til syne i begrundelsen for overgangen til samfundstilstanden.

Ulempen i naturtilstanden var den vedvarende usikkerhed. Den enkelte eksisterede med en ukrænkelig ret til liv, frihed og ejendom. Dette var den guddommelige orden. Men eftersom alle eksisterede lige under denne orden, var alle også blevet dommere overfor den rets-krænkelse der var sket: den straf der blev dømt var derfor også underlagt vilkårets tilfældighed.

Rets-usikkerheden var dermed blevet den almene konsekvens—og derfor også usikkerheden for liv, frihed og ejendom. Og præcist dette blev grundlaget for overgangen til samfundstilstanden, kravet om en sikker retsbeskyttelse, som naturloven ikke ydede.

Den yderligere indskrænkning i den enkeltes frie ret til aggressions-udøvelse, som samfunds-tilstanden krævede i et formaliseret og ensartet rets-system, var ene og alene tilvejebragt gennem fornuftens formidling. Tilpasning til og i samfundet legitimerede sig gennem fornuftens arbejde—nu udlagt som kulturens indhold.

For frihedens indhold var blevet til gennem moralfilosofiens antagelse af dens mulighed. Midlet var igen fornuften. Lukket inde i den uudvigelige døds-angst, som konsekvensen af Locke's kritik af arvesynden, som den skæbne der ventede forude, så var døds-angstens konsekvens det nødvendige krav om aggressions-afkald. Omgåelse var ensbetydende med straffen på Dommens Dag, ensbetydende med truslen om evig uforløst død.

Tilbage blev derfor også kun tilpasningens nødvendighed som selv-opgivelsens første skridt. Kulturelt legitimeret med den fornuft, der var frihedens velsignelse.

Den massivitet i aggressions-afkaldets nødvendighed Hobbes havde forestillet sig, var således ikke nødvendig for Locke.

For nu eksisterede fornuftens og frihedens begreb i døds-angstens skygge, som den enkeltes uundgåelighed. Aggressions-afkaldet, som den enkeltes uudvigelig, var allerede etableret som den enkeltes egen "natur" i naturtilstanden.

Med det introjicerede afkald som nødvendighed måtte det påkrævede ekstra afkald ved overgangen til samfunds-tilstanden derfor også blive mindre. "Natur" var blevet til den indre tvang, der allerede på forhånd fuldbyrdede en del af *Leviathan's* arbejde.

Fuldbyrdede fornuften som "natur" således en del af *Leviathan's* arbejde, så sørgede friheden for den supplerende tvang. Udsat for døds-angstens uudvigelig, som det mekaniske verdensbilledes egen forudsætning, så var befrielsen fra lidenskaberne blevet til frihedens grundlag. Dvs. befrielsen fra den menneskelige oprindelighed, dets genuine spontaneitet, var blevet frihedens definendum. Og frihedens indhold, i angsten for straffen, forvandlingen af spontaneiteten til fængslets orden.

I modernitetens frihed var den aggressions-indadvendelse der fandt sted hos Hobbes i den åbenlyse tvangs skygge således blevet lige så omfattende. Omend mindre gennemsigtig. Dels fordi en del af den var blevet forvandlet til frihed. Og dels fordi den nu fremtrådte som "natur" i fornuftens begreb.

Fornuft var dermed blevet rodden til den faktiske ufrihed, dvs. den indre tvang der nu fremtrådte som "natur", og som forudsætningen for hele den naturvidenskabelige revolutions moderne kulturelle syntese.

For det var denne der først og fremmest spredte sig over resten af kontinentet. Formidlet først gennem Voltaire's inspiration af Newton og Locke, og senere i oplysningsfilosoffernes grundlæggende binding til den

engelske empirisme. Da Encyclopedie'n begyndte at se dagens lys fra 1750 var der således intet forandret i dette grundlæggende udsyn.

Men præcist derfor også dette fundament, i dobbeltheden mellem kosmisk orden og psykisk menneskebillede, romantikken som oprør vendte hele sin reaktion imod.

Og præcist hvorfra begyndelsen tog sin oprindelse.

Og denne var den ensomme vandrer, Jean-Jacques Rousseau.

4. *Besindelsens historiske kultur*

Fra Bacon's skrinlagte storprojekt, *Instauratio Magna*, frem til det vellykkede projekt i Encyclopedie'n gik ikke blot en og samme grundholdning i betragtningen af sammenhængen mellem fornuft og frihed. Men også en og samme grundholdning i betragtningen af samfundet, nemlig dets anskuelse som et ubetinget gode. Naturlilstanden var tilstanden i kaos, uorden—og ondskab. Samfundet var det ordnede menneskelige liv, disciplineringen af de uordnede lidenskaber og garantien for den velfærd, velstand—og lykke, der var fremskridtets mål.

Så enkle var overbevisningerne. Og derfor også, endnu, deres åbenhed for kritik og besindelse.

Anledningen blev udskrivningen af en prisopgave fra akademiet i Dijon. Spørgsmålet var lige så enkelt som forudsætningerne, nemlig spørgsmålet om videnskabernes og kunstens udvikling havde bragt lykke eller forfald. Førsteprisen blev vundet af afhandlingen *Discours sur les sciences et les arts*. Forfatteren var Rousseau.

Svaret var entydigt, bindende og bidende. Videnskabernes såvel som kunstens udvikling havde kun bidraget til moralens forfald og kulturens

fordærv. Omend den naturvidenskabelige revolution havde frembragt genierne Locke og Newton, så havde den kultur der var blevet konsekvensen kun frembragt et skin af velstand og velfærd, hvis væsen var den faktiske grusomheds systematiske iscenesættelse.

Dermed var udfordringen overfor encyclopædisterne givet og handsken kastet. Dens indhold skulle komme fem år efter, i besvarelsen af endnu en prisopgave. Denne gang vandt besvarelsen ingen pris—dertil var udfordringen blevet for radikal. Men besvarelsen skaffede Rousseau udfordringen da den først blev publiceret i 1755 som *Discours sur l'inegalite*.

Derefter herskede der ingen tvivl om udfordringens omfang og indhold. Samfundet blev nu betragtet som et ubetinget onde, som den instans der havde frembragt ikke blot ondskabens problem, men også uligheden og ufriheden som menneskehedens grundvilkår. I samfundets primære instanser, arbejdsdelingen og ejendomsretten, konkretiserede Rousseau ulighedens grundlag.

Mere grundlæggende og mere dybtgående kunne opgøret med Locke's kulturelle syntese ikke foretages. For i kontrasten, Rousseau's beskrivelse af naturtilstanden, herskede arbejdsdeling og ejendomsret ikke som sociale regulerings-mekanismer. I stedet var den enkelte underkastet selvopholdelsens primat—men i en omkreds hvor friheden herskede ubrudt, og hvor den enkeltes mulighed for at skabe sig en fri og lykkelig tilværelse var uantastet.

Dermed var også det centrale grundtema for Rousseau's forfatterskab angivet, dvs. den systematiske beskæftigelse med frihedens problem. Først 13 år senere var den flamme udslukt der blev tændt med *Discours sur les sciences et les arts*. Men da havde den også produceret de tre storværker fra 1761 og 1762, dels den individuelt-psykiske kritik af moderniteten i *Émile: Ou de l'éducation*; dels samfunds-kritikkens systematisering i *Contrat*

Social og endelig det litterære forsøg på beskrivelsen af den sande kærligheds grundvilkår i *La Nouvelle Héloïse*.

I grundlæggende forstand blev *Émile: Ou de l'éducation* det systematiske opgør med helheden i den kulturelle syntese der var blevet konsekvensen af Locke's kulturelle syntese og Newton's mekaniske verdensbillede. Efter publiceringen af *Émile: Ou de l'éducation* stod to kultursyn uforsonligt overfor hinanden, med vidtrækkende konsekvenser i synet på natur, samfund og menneske.

Det var intet mindre end det mekaniske verdensbilledes kultursyn der var opgørets genstand, dvs. et opgør med det fornufts-begreb og den frihed der var indholdet. Det var et oprør der rettede hele sin flade mod den mekaniske sansepsykologi der fortsat, både hos Hobbes og Locke som hos såvel encyplædisterne som de radikale materialister, stadigvæk var indholdet. For mekanikkens grundindhold, menneskets forvandling til maskinel mekanik i påvirkningen fra de ydre og indre bevægelses-kilder, havde også skabt mennesket som et lukket og afgrænset stykke mekanik. Den kosmiske orden var lukket i sin struktur—tilsvarende indelukket blev mennesket. Som blot passivt mekanik til kraftoverføring var mennesket blevet den samme lukkethed—og den fornuft der skabte friheden kunne kun blive til en frihed, der fandt sin selvbegrundelse i lukkethedens indespærring.

Det var præcist denne lukkethed der var hele kritikkens genstand i *Émile: Ou de l'éducation*. Indholdet var det systematiske forsøg på at analysere og beskrive personlighedsformningen som en historie der var en dannelsesproces. Og vel at mærke en dannelsesproces der var åben i hele sit omfang. De påvirkninger mennesket modtog i sin allerførste levetid, dvs. i barndommens år, blev for Rousseau til det voksne menneskes personlighed. Det voksne menneske, som resultatet, var således formet eller dannet gennem en proces der var åben og tilgængelig i hele sit omfang.

Det var os der skabte den personlighed der blev konsekvensen—det var altså også os der gennem overvejelserne over de påvirkninger vi gav fra os, der var i stand til at bestemme den dannelse vi ønskede som resultat.

Fremfor lukkethedens skyld og angst, der var den inderste kerne i Locke's kulturelle syntese, trådte i *Émile: Ou de l'éducation* åbenhedens ansvarlighed. Myndighed fremfor tilpasning var grundlaget—men også med vidtrækkende konsekvenser for de videre kulturelle følger.

Med ansvarlighed og myndighed som fundamentet for personlighedens formning var hele grundholdningen til angstens, og dødens, fænomen også blevet vendt om.

Den mest fundamentale formning Rousseau underlagde *Émile* var tilvænningen til dødens uundgåelighed—for i erkendelsen af dødens nødvendighed at skabe den angstfrie omgang med livet. I denne tilvænnning var den levende, dvs. *Émile*, allerede fra sin begyndelse i live, og ikke fra begyndelsen forvandlet til en levende død. Formningens grundlag var dannelse ikke i konsekvens af angst, men dannelse til selvbestemmelse i forhold til selv'ets egen originalitet.

Frihedens problem og dimension var dermed også radikalt blevet vendt om.

Den enkeltes formning havde nu grundlaget i dets eget selv og dets ukrænkelige originalitet. Som selvbestemmelse var målet den enkeltes egen udvikling af sin originalitet. Overfor originalitetens selvudfoldelse, hvor primitiv den end måtte vokse i livets første begyndelse, satte Rousseau grænser. *Émile* skulle præcist lære rækkevidden af sin egen spontaneitet—og i grænsen erkende sin egen personlighed. Befrielsen fra angsten var dermed blevet grundtemaet—en befrielse der kun kunne opnås præcist gennem konfrontationen og overvindelsen af det angst-skabende.

Dermed havde forholdet til fornuft, og dens kultur som rationaliseringer, også fået et nyt indhold. Fremfor fornuft som udsættelse og eftertanke af lidenskaberne i forhold til angstens egen stemme var trådt den enkeltes selv som ansvarlighedens og myndighedens instans både overfor det egne selv som overfor medmennesket.

Og til dette behøvedes ingen rationaliseret fornufts-kultur eller introduktion til fornuft. Til dette formål var den enkeltes eget ukrænkede selv tilstrækkeligt.

Fornuften og dens kultur blev derfor holdt fjernt fra Émile. Enhver påvirkning fra samfundets konventioner var bandlyste frem til puberteten. Men indtil da skulle Émile leve på landet, afskærmet fra byernes op-hobning af stivnede konventioner og glat konformitet. Den fornuft der skabte kulturens "frihed" var for Rousseau blevet den forbandelse Émile måtte holdes fjernt fra—og først møde den når hans eget selv var tilstrækkeligt fast forankret i hans personlighed.

Men samtidig, og af epokegørende betydning, med en lige så grund-læggende forandret holdning til aggressionens natur.

Rousseau's formning af Émile i dennes livshistoriske barndom var en formning og tilvænnning til anvendelsen af kroppens naturlige aggression. Fremfor alt skulle Émile stedse vendes til angstens og frygtens fænomen. I mødet med den skulle Émile vendes til konfrontationen med angsten, vænnes til at anvende aggressionen konstruktivt i overvindelsen af angsten—og til stadighed vænnes til sin egen personligheds ekspansion i den konstruktive anvendelse af aggressionen. Enten personlighedens stadig mere omsiggribende indskrænkning i undvigelsen af angsten—eller også brydningen af angsten gennem aggressionens anvendelse til personlighedens selvbestemmelse.

Så enkel og så gennemgribende var modstillingen i *Émile: Ou de l'éducation*. Kun i tilvænningen til angsten skabtes befrielsen fra den og dermed også først livets mulighed. For livet var for Rousseau ikke befriet hverken fra sorg, skuffelser eller smerte. Derfor skulle Émile også allerede fra livets begyndelse vænnes til smertens og sorgens indhold. Ikke for at knække Émile, men for at danne Émile i forhold til sin egen smerte-grænse. Kun i anvendelsen af kraftens styrke, i beredskabet overfor smerten, var muligheden åbnet for at skabe sin egen personlighed. Uden vilje til at tåle smerten, dvs. uden vilje til at tåle livet i dets omskiftelighed, var adgangen til aggressionen som konstruktiv kraft meningsløs. Dens myndighed erhvervede den først når den trådte i personlighedens tjeneste, som ansvarfuld selvbestemmelse. Og den ansvarsfulde selvbestemmelse involverede også styrken til at tåle savn og modgang.

Og her brød Rousseau i dybden med hele den nu ophobede tradition i det mekaniske verdensbilledes kultur.

For Émile eksisterede der intet destruktivt i aggressionens anvendelse i selvrealiseringens tjeneste. Aggressionen eller den udadvendte kraft var blevet formet og dannet som en integreret bestanddel i Émile's personlighed. Noget aggressions-afkald, der var blevet vendt om i selvundertrykkelsens tjeneste, fandt ikke sted. Émile var blevet formet som sit eget livsprojekt—og til realiseringen af dette rådede han over sin aggression som en konstruktiv kraft. Den var stedse udadvendt, og tjente aldrig til at indskrænke Émile eget virke.

Hele skitsen i *Émile: Ou de l'éducation* var rettet imod selvundertrykkelsens nødvendighed. Émile var det modsatte af selvindskrænkning og selvundertrykkelse. Ikke tilpasning gennem angsten, men selvbestemmelse i frihed var budskabet. Og dette krævede den radikale omvending i forholdet til aggressionens væsen. Hvor aggressionen hos Hobbes og Locke, og i dens senere overtagelse af de franske oplysningsfilosoffer, stedse kun

var en negativ og destruktiv kraft, der skulle inddæmmes og ryddes af vejen, så dukkede nu det modsatte billede frem. Mennesket kunne kun blive til gennem anvendelsen af sin aggression: opdragelsens indhold var dens formning i personlighedens tjeneste. Skete dette, så bortfaldt også den negative og destruktive aggression. Den var *de facto* blevet overflødig.

Dermed bortfaldt også den kulturelt destruktive aggression.

Som kulturmenneske havde Émile intet behov for at udlade nogen aggressioner på andre. De var jo anvendt i formningen af hans egen personlighed—nogen rest der var ophobet eksisterede ikke. De aggressioner Émile anvendt blev stedse anvendt konkret og i det konkrete måls tjeneste, dvs. realiseringen af Émile projekt med livet. Nogen indadvendt aggression der projektivt kunne ramme andre eksisterede ikke. Hele dannelsen havde taget sigte på at udrydde deres eksistens. Fraværet af selvundertrykkelse kom derfor også til at lede til fravær af inddæmmet aggression der på et senere tidspunkt kunne bryde ud i irrationel retning.

Det kulturelle fjendebillede var engang for alle blevet udryddet i *Émile: Ou de l'éducation*.

Fra *Discours sur les sciences et les arts* over *Discours sur l'inegalite* frem til *Contrat Social* gik en og samme ubrudte tendens, opgøret med den kultur der i sit eget kølvand producerede destruktiv aggressivitet.

Dets grundlæggende indhold var den positive omgang med mennesket og dets lidenskaber. Menneskets lidenskaber var for Rousseau i sig selv ganske befriet for enhver form for destruktivitet. Mennesket i sig selv søgte imod dets egen lykke—og dette blev projektivt til omsorgen for medmennesket.

Først samfundet kunne sætte grænser for denne naturlige eller medfødte kærlighed. I sig selv var der intet spor af ondskab i naturmennesket. Rousseau's grundlæggende budskab i *Discours sur l'inegalite* var præcist

naturmenneskets iboende godhed—og samfundsudviklingen som det der depraverede mennesket.

Den dødsdrift der som destruktiv aggressivitet havde fundet sin begrundelse hos Hobbes og Locke, var således fraværende. Der hvor den fandtes, i de civiliserede nationers stadig mere og mere voldsomme omgang med krigen, der var den udelukkende et produkt af de civiliserede nationer selv.

Tydeligst kom den kulturelt betingede dødsdrift slutteligt til orde i Rousseaus litterære værk, *La Nouvelle Héloïse*.

Udfyldningen af Locke's kulturellesyntese til hverdags-kultur var først og fremmest foretaget af forfatteren Samuel Richardson. I en række brevromaner blev den lock'ske moral anskueliggjort i hverdagens handlings-anvisninger. Men symptomatisk var det hver gang selvmordet der var de dramatiske omdrejninger -symptomatisk fordi det kulturelle budskab var selv-udslettelsens indre påbud.

Rousseau's svar blev *La Nouvelle Héloïse*. Også her var kærligheds-tabet det dramatiske indhold—men uden selvmordet eller selv-udslettelsen som den dramatiske forløsning. Også Héloïse måtte konfronteres med kærligheds-tabet—men kunne tåle tabet uden at gå under i sin personligheds integritet. Kærlighedens indre styrke havde nu sådan et grundlag i personlighedens egen autonomi at afkaldet også kunne tåles. Følelsen havde vundet og lidenskabens kunne leve sit liv også i skyggen af den tålte smerte.

Det autonome, selvbestemmende og myndige menneske var blevet Rousseau's svar til det mekaniske verdensbilledes filosoffer, Locke og Voltaire.

Der var ikke brug for et negativt billede af mennesket, ingen indbygget angst for aggressionen og intet kærligheds-tab som grundlag for selvindskrænkning.

Der var derimod en insisterende kritik af den kultur der gjorde brug af fornuften for at indskrænke menneskets råderet over dets egen selvbestemmelse. Der var en kritik der insisterende hånede den frihed, der kun så sit eget indhold i slavens accept af sin egen lænke.

Det var en kritik der fremfor fornuftens selvimmuniserede frihed krævede følelsens selvbestemmelse. Som menneskets grundlag.

5. Refleksionens historik

Uden at foregribe yderligere konklusioner begynder konturerne af en besvarelse på det spørgsmål der blev stillet i afslutningen af afsnit 2 også at vise sig.

Bag fornuftens kultur, sådan som den formulerede sig i oplysningsfilosoffernes tænkning, dvs. fornuften som garanten for frihed og demokrati, lå gemt en omfattende formæling med den kristne metafysik. Dens tilsynekomst blev det mekaniske verdensbillede med dets krav om orden. Det mekaniske verdensbillede i sin snævre begrundelse var den nødvendige samvirken mellem naturlovene—men bag dette lå samtidig nødvendigheden af en første Årsag eller en ordende Skaber. Hvor meget det mekaniske verdensbillede end verdsliggjorde sig selv til blot mekanik, så var mekanikken ikke tænkbare uden om den første årsag. Kristendommens ordens-tænkning var hele princippet i dets funktion.

Ordens-tænkningen, dogmatisk indstiftet i den kristne teologi, var dermed også hele grundlaget for naturvidenskabens opfattelse af såvel menneske som kosmos. Og forudsætningen for selve begrebet om det lovmæssige såvel som for den induktive metode. Hvis der ikke herskede

orden i naturen, som den mest fundamentale forudsætning, så var enhver induktion og ethvert eksperiment meningsløst.

Denne ordens-tænkning skulle få vidtrækkende konsekvenser ikke blot for naturbilledet, men også for menneskesynet.

Dets første konsekvens kom til syne i den mekaniske sansepsykologi. Med universets ordning i en omfattende himmelsk mekanik, så var mennesket også ordnet i dette gigantiske skaberværk. Dets grundlæggende konsekvens blev opfattelsen af mennesket som en maskine, der registrerede såvel udvendige som indvendige bevægelses-påvirkninger, og omsatte disse momenter til ny bevægelse. Mennesket som en maskine der formidlede bevægelses-forandring var hele indholdet i menneskets gøren og lande.

Som sådan passede mennesket således til det mekaniske verdensbillede dybeste grundlag, opfattelsen af universet som blot kvantitet i bevægelse.

Men også med en immanent dysfunktionalitet. For menneskets indre sansepåvirkning var lidenskabernes bevægelse. Og disse kunne, om nogen bevægelse, bringe uorden og kaos i den himmelske orden. Dette var selve begrundelsen for de utallige naturretsfilosofier der ledsagede den naturvidenskabelige revolution: overladt til sig selv, til kun lidenskabernes selvbevægelse, bragte menneskets kaos med sig. Og ødelagde dermed intentionen med det guddommelige skaberværk.

Nødvendigheden lå dermed også i ordningen af de menneskelige lidenskaber således at de samsvarede med den himmelske orden.

Med mennesket som maskine, der blot formildede bevægelses-forandring, var løsningen ligetil. Med den stadig intakte kristendom som sidste begrundelse var Dommens Dag den straf alt menneskeligt liv frygtede. Over alt menneskeligt liv rådede derfor også den ubrydelige angst for den straf der stod lige uafvigeligt ved livets afslutning. Døds-angst først og

sidst var den jordiske konsekvens af Dommens Dag i den himmelske orden.

Med maskinen som fundament og angsten som indhold havde fornuften imidlertid også fundet sin indgang til den vesteuropæiske kulturs modernitet. I fornuftens indsigt i dødens uafvendelighed, og med den kulturelle hævde af angstens uundgåelighed, så havde fornuften kun en opgave foran sig, nemlig at tøjle lidenskaberne i undgåelsen af straffens uafvendelighed. Så enkel var opgaven—der krævedes kun af fornuften at den gennem eftertanken udsatte lidenskaberne og overvejede konsekvenser overfor straffens mulige indhold.

Denne fornuft skabte dermed friheden.

Men det var således en fornuft og en frihed der i hele sit fundament hvilede på ordens-tænkningen. Ikke blot blev mennesket forvandlet til et stykke maskine, og ikke blot blev den himmelske straf-mulighed opretholdt—men menneskets grundlæggende frihed blev nu forvandlet til frihed fra dets eget selv.

Fornuft og frihed var dermed i sin egen selvbegrundelse blevet til redskaber i selvudslettelsens tjeneste.

Det var hele denne indre sammenhæng Rousseau's oprør rettede sig imod.

Men hvor meget end oprøret søgte at gøre sig fri af det mekaniske verdensbillede og den traditionelle kulturs Guds-forestilling, så blev også Rousseau i sidste instans offer for sin egen kulturs samtid.

Synliggørelsen kom i *Émile: Ou de l'éducation*, og her i tilsætningen om den savojske sognepræsts trosbekendelse, *Profession de foi du Vicaire Savoyard*. For dette var intet mindre end reetableringen af Gud som den ordnende Skaber, der havde skabt orden i naturen—og skabt mennesket. Ordens-tænkningen var dermed blevet hele indholdet endnu engang. Midt

i oprørets tyngde holdt kravet om orden igen sit indhold. Midt i kritikken af fornuftens hærgende konsekvenser overfor alt menneskeligt liv, midt i opgøret med det skin af frihed fornuftens skabte, holdt igen den orden, der var fornuftens egen selvbegrundelse, sit indtog.

Dette var det dilemma Rousseau åbnede op foran sig. På den ene side en grundlæggende kritik af hele det mekaniske verdensbillede og dets afledte begreb om fornuft og frihed. Og på den anden side en reetablering af kristendommens ordens-tænkning, med den fornyede nødvendighed af et ordens-skabt univers. Omend Rousseau's Gud var den næstekærlige og trøstende Gud overfor menneskets skrøbelighed, og omend den straffende og angst-skabende Gud var afskaffet—så var det dog stadigvæk nødvendighed af orden der også kom til udgøre grundstammen for Rousseau.

Dilemmaet var uløseligt for Rousseau, ligesåvel som det fandt sin genklang i den mest radikale fløj af oplysnings-filosofferne, de materialistiske ateister. Nok havde de afskaffet Gud—men med bibeholdelsen af ordens-tænkning og mennesket som maskine, i det selvsamme fornufts-begreb, så var faldet blot blevet endnu dybere. Eftersom rødderne til fornuftens krav om selv-indskrænkning nu var blevet uigennemsigtige.

Løsningen, med dyb konsekvens for den vesteuropæiske kulturs udvikling, kom med udviklingen over Kant og Hegel.

Med anslaget i *Kritik der reinen Vernunft* i 1781 var det totale opgør med dilemmaet også angivet. For det Kant foretog var intet mindre end det totale opgør med det mekaniske verdensbillede. Med ophævelsen af rummet og tiden som absolutte og uendelige var det mekaniske verdensbilledes nødvendighed også brudt sammen. Der hvor Kant med den transcendentale æstetik indvarslede rummet og tiden som blot anskuelses-

former for den menneskelige bevidsthed, der forsvandt også det mekaniske verdensbillede.

Gjorde den transcendentale æstetik op med det mekaniske verdensbillede, så kom den transcendentale analytik lige grundlæggende til at gøre op med ordens-tænknings grundlag, årsags-begrebet. For også lovens grundlag, de logiske former, blev nu til former i forstandens arbejde. Den naturvidenskabelige lov var dermed intet andet end form-udtrykket for forstandens egen måde at arbejde på.

Kritik der reinen Vernunft var således det massive opgør med hele det mekaniske verdensbillede og dets metafysiske indopfattelse af kristendommens dogmatik.

Men endnu stod også Kant tøvende overfor konsekvensen. *Kritik der reinen Vernunft* sluttede med den transcendentale dialektik, i læren om fornuftens grundlæggende antinomier. Nok havde Kant således udryddet dilemmaets grundlag, det mekaniske verdensbillede og det naturvidenskabelige ordens-begreb i lovens skikkelse—men endnu også uden en kulturel holdbar løsning.

Denne kom, i sin sluttelige form, i 1788 med *Kritik der praktischen Vernunft*. Svaret var det kategoriske imperativ i morallovens form, at enhver af dine handlings-maximer samtidig skal kunne gøres til grundlag for en almen lov. Det kategoriske imperativ var en pligt, eftersom moraloven sikrede et almen-gyldigt menneskeligt område, hvor kun fornuften herskede.

Det kategoriske imperativ og moraloven var således det storslåede forsøg på at ophæve begrænsningen i det mekaniske verdensbillede og nødvendigheden af *das Ding an Sich*. I det kategoriske imperativ, i morallovens pligt, var fornuftens dilemma ophævet: for hvis mennesket kun handlede således at enhver af dets handlinger kunne underkastes for-

nuftens egen operation, dvs. logikkens undersøgelse, så herskede fornuften selvsagt også ubrudt.

Men prisen for konstruktionen i *Kritik der praktischen Vernunft* var lige så omfattende som konstruktionen.

For det kategoriske imperativ var en modsigelsesfri pligt. En pligt der således nedsænkede mennesket i en uløselig modsætning. For på den ene side eksisterede mennesket fra sin begyndelse i sansernes pirring til spontan handling, uden om enhver lovstiftende ordens-grundlæggende logik. Ethvert menneske var derfor også for altid nedsænket i konfliktens absolutte modsætning, altid at tæmme spontaneiteten og lidenskaberne således at kun morallovens logik herskede ubrudt.

For Kant var dette den nødvendige pris i *Kritik der praktischen Vernunft*. Moralloven, som det kategoriske imperativ, var menneskets ædlest mål—og det det skulle vie alle sine kræfter til fuldførelsen af. I morallovens skikkelse var selv-udslettelsen således blevet det højeste dyd.

Det var således ikke længere orden der herskede, men ubrudt forstandens logik.

For konsekvensen af såvel *Kritik der reinen Vernunft* som *Kritik der praktischen Vernunft* var opløsningen af hele det fysisk inspirerede mekaniske verdensbillede. Til fordel for den matematisk funderede logik, der blev virkeligheds-stiftende gennem sin egen tanke-operation. *Das Ding an Sich* kunne nu undgås. Mennesket skabte blot de handlinger der var i overensstemmelse med den logiske fornufts form—dermed ville også al virkelighed være fornuftig og i sig selv udtryk for fornuft. Enhver uforståelighed og enhver overraskelse over det ubegribelige, det spontane, var dermed også systematisk udryddet.

Men prisen var dobbelt. Moralloven systematiserede engang for alle modsætningen mellem fornuftens logiske krav på uniformitet overfor

sansernes spontaneitet: det kategoriske imperativ trak konsekvensen. Kun den logiske forms uniformitet måtte herske—det spontane, det vilkårlige og det tilfældige skulle ikke blot inddæmmes, men udryddes som moralsk pligt. Selv-udslettelsen var således ikke blot blevet systematiseret, men menneskets eget indre forvandlet til fjenden. Selvudslettelse og fjendebillede havde dermed fundet sin første kulturelle grundlæggelse som modernitet.

Endnu der hvor det mekaniske verdensbillede kulturelt havde hersket, i sit krav til orden, endnu der havde muligheden for det spontane eksisteret. Det var et krav til orden der krævede menneskets tilpasning til ordenen—hvad mennesket ellers gjorde var ordenen ligegyldigt.

Med opgøret med det mekaniske verdensbillede, i fornuftens oversættelse til logik, forsvandt denne endnu værende bredde. Logikkens krav var den absolutte systematisering i udelukkelsen af det intuitive. Kun den prædikative logik, i fornuftens oversættelse til kun diskursive forstand, var det virkeligheds-sættende—alt andet uorden.

Med *Kritik der reinen Vernunft* og *Kritik der praktischen Vernunft* var mennesket undfanget i selv-udslettelsens projekt, og grundlagt i fjendebilledets uudvigelighed. Med den yderligere tilsætning at det moralsk storladne, frihedens inderste kerne, nu kun legitimerede sig i moralloven.

Fornuft var dermed blevet frihed, og friheden forvandlet til den uigennemsigtige logiske forms tilsyneladende sandhed. Men bag den logiske forms krav på objektivitet skjulte sig således menneskets udslettelse i fjendebilledets sprog.

Sine første konsekvenser skulle dette få hos Hegel og Marx, endnu under påvirkning af romantikkens samlede kulturelle oprør. Hos Hegel blev den logiske tænkning tilendebragt og mennesket slutteligt udslettet

i logikkens selv-bevægelse. Kun helten og geniet blev tilbage som menneskets mulighed, som den absolutte ånds fuldbyrder.

Logikkens endelige udfyldelse i fjendebillede blev fuldbyrdet af Marx. Klassekampens uundgåelighed i det historiske brodermord var blevet til al historie. Tilbage var kun logikkens sætning af det altid værende fjendebillede.

Kant som grundlæggeren af fornuften som forstandens logik, Hegel som logikkens oversættelse til selvudslettelsens historie og Marx som fjendebilledets indstiftelse i den altudslettende klassekampes historik—dette var de filosofihistoriske linier i moderniseringen af det mekaniske verdensbillede.

Men endnu også i fortidens gennemsigtige rødder.

For hvor dybtgående Marx end videreudviklede den hegelske logik, og dermed lod historien forstene i logikkens ensretning, så var Marx's teoridannelse samtidig det første systematiske forsøg på bestemmelsen af fremmedgørelsen. Og præcist i fremmedgørelsens begreb gen-åbnede historiens mulighed som negativ kritik sig.

Til trods for historiens forstening i logikkens begreb så var det en forstening der havde fået sin egen gennemsigtighed—og mulighed for kritik.

Denne mulighed forsvandt i grundlæggende forstand da den matematiske logik begyndte sin udvikling fra slutningen af det nittende århundrede. Med kvantificeringen af den syllogistiske logik var dens grænser brudt, og vejen frem til den logiske positivisme logistiske konstruktion af verden var banet.

6. Besindelsens mulighed

Der hvor besindelsen ved mødet med koncentrationslejrenes rædsel tog sin begyndelse—og slutning—var med Popper, Russell samt Horkheimer og Adorno.

Såvel Russell som Popper stod på den symbolske logiks standpunkt. Russell selv var en af grundlæggerne af den moderne logik, og fastholdt stedse det logistiske standpunkt. Dvs. antagelsen at menneskets subjektivitet var dets privathed—og at den kulturelle refleksion var rettet mod det offentlige, dvs. mod det objektive i det logistiske argument. Det private som det subjektive var det der for Russell skulle begrænses og minimaliseres.

Dermed videreførte Russell hele den gængse naturvidenskabelige tradition. Og således ikke blot det snævre naturvidenskabelige ordensargument men også dets udvidede logistiske menneskebillede.

Fordrejningen hos Russell var ikke så meget beskrivelsen af Rousseau. Dette lå næsten i sagens natur, at Rousseau måtte blive til genstand for en uvederhæftig behandling. Langt snarere lå fordrejningen i Russell fremstilling af Kant.

For også Kant blev af Russell gjort til blandt totalitarismens forberedere. Men præcist i Kant's erkendelsesteori, fremfor alt *Kritik der reinen Vernunft* var den position gennemsigtig der var fundamentet for Russell egen holdning. Der hvor Russell som erkendelsesteoretiker blev synlig, i hovedværket *Principia Mathematica*, den symbolske logiks grundlæggelse sammen med Whitehead, der skete det med en total afskæring over logikkens metafysiske rødder. De rødder som endnu var synlige hos Kant men forblev skjulte hos Russell.

Dette er vel fremfor fordrejningen hos Russell.

Popper's hovedargument rettet sig mod marxismen, som naturvidenskabens opgør med sin hovedfjende.

I dette lå der ej heller noget opsigtsvækkende.

Fordrejningen skete der hvor Popper anvendte naturvidenskabens snævre sandheds-kriterium som menings-kriteriet for historien. Hvis ikke alle fortidige som nutidige menneskers totale historie kunne skrives—ja så var historien som sådan meningsløs.

Der hvor Popper med sit eget snævre menings-kriterium ikke kunne skabe orden overfor historiens mangfoldighed, der prisgav han hellere historien. Fremfor at indse naturvidenskabens egen begrænsning. I til-lukketheden overfor sit eget metafysiske standpunkt blev alt forskelligt gjort meningsløst og prisgivet som meningsløst.

Fordrejningen fordoblede sig i *The Poverty of Historicism*. For nu blev det rationelle sociale argument sidestillet med *piecemeal social engineering*. Rationalitet var socialt blevet til teknologi. Hvor fordrejningen ofrede historien i *The Open Society and Its Enemies*, der blev den sociale forståelse ofret i den sociale teknologiske fremhævelse som den objektive rationalitet.

Dybere kunne den metafysiske afgrænsning overfor egen tænknings fundament ikke gennemføres.

Det sted hvor Horkheimer og Adorno fordrejede sags-forholdet var ikke så meget i kritikken af den instrumentelle fornuft. Dette var så at sige blevet til Frankfurter-skolens egen tradition. Punktet hvor fordrejningen fuldbyrdede sig var i blindheden over logikken i det marxistiske merværdi-begreb. Merværdi-læren, fremfor alt dens grundlæggelse i bytteværdi-abstraktionen blev som *deus ex machine* den faktor der forklarede alt. Merværdi-lærens egen indre skrøbelighed, dette at en *form*, værdi-abstrak-

tionen, blev gjort til et socialt *indhold* faldt det ikke Horkheimer og Adorno ind at anfægte.

Dermed måtte den instrumentelle fornuft reduceres eksklusivt til bytteværdiabstraktionen, og blindheden fuldbyrdede dermed resten af historien.

Russell's fordrejning overfor det logistiske standpunkts metafysik, Popper's metafysiske fordrejning af social teknologi som meningsfuld rationalitet samt Horkheimer's og Adorno's fordrejning af merværdi-lærens metafysik skabte *in toto* en kulturel besindelse hvor vores fornuft-forms metafysik blev unddraget refleksion. Og i sit kølvand, unddrog friheden besindelsens kritik.

For den fornuft der blev udviklet i naturvidenskabens forståelse var også en fornuft der forholdt sig aflukket overfor historiens mangfoldighed. Naturvidenskabens fornuft krævede uniformitet og kvantitet, orden og tidsløshed. Forhold der i bund og grund udelukkede historiens perspektiv—hvorfor også Popper følgerigtig måtte kritisere det historiske standpunkt.

Men det var ikke kun orden naturvidenskaben krævede. Den krævede også, i det øjeblik naturvidenskaben voksede sammen med det omgivende samfunds produktion, menneskets udslettelse. Subjektivitet som menneskets refleksion over dets egen dannelse var dermed også blevet farlig—videnskaben som naturvidenskab måtte derfor også skille sig ud fra kunstens begribelse. Kunst som refleksionens højeste form måtte udskilles som en erkendelse der kun eksisterede som socialt marginalfænomen. Dette var virkningen af Russell's besindelse.

Den kultur vi er en del af har den logistiske forståelse som sit grundlæggende fundament. Det betyder også en kulturel selvforståelse der vil udvikle et begreb om det fornuftige der kun er alment. Dvs. en fornuftskultur der plæderer objektivitet og sandhed i den logiske forms selvfremsstilling—og vender sig mod enhver form for singularitet som ren og skær subjektivitet. Dets tidsbundne og konkrete vil således i stigende omfang blive kulturelt anathema.

Den frihed denne fornuft vil kunne udvikle vil blive tilsvarende begrænset. Det konforme vil kompensatorisk nok nå mange former—men til stadighed under den specifikke forudsætning, at den enkelte afsværges sig sin individualitet.

Men hvor meget den end udvikler sin logicitet vil det altid være en fornuft og en frihed, der kræver en fortælling og en retfærdiggørelse. Hvor meget end historien og kunsten søges udslettet, så vil det være med historiens og kunstens sprog videnskaben søger sit felttog.

Og dette er kritikkens ultimative håb og grundlag. Hvor meget end mennesket søges forvandlet til logikkens udtrykte billede, så vil mennesket stadigvæk være til. Det skal først omformes for at blive konformt.

Goethe måtte, i *Wilhelm Meister*, ty til afmagtens flugt overfor maskinens begyndende sejr.

Kafka måtte, i *Fangekolonien*, ty til den redningsløse selvdestruktion overfor den altomformende maskine.

Positioner for både Goethe og Kafka der var afmagten overfor teknikens sejr. Som om maskinen var så mægtig at den kunne tilintetgøre mennesket.

Hans Hedal

Halvlederteknologiens innovationshistorie

En teoretisk skitse af innovations- processens dynamik

1. Indledning

En væsentlig pointe med denne artikel er, at en *samlet* analyse af halvlederteknologiens innovationshistorie på et *metodisk* grundlag hidtil har *manglet*. Af fuldstændige analyser har der hidtil kun eksisteret enkelte værker af hovedsagelig journalistisk karakter. Det forsøger dette arbejde at råde bod på. Det hidtil mest kendte eksempel på et værk med journalistisk præg er Braun og MacDonald (1979 og 1982).

Artiklens yderste formål er imidlertid praktisk: At bidrage til at udvide det begrebsapparat, hvormed teknologipolitisk engagerede lægfolk og eksperter tænker og handler overfor teknologisk innovation. Ikke med nogle tilfældige begreber, men med solidt empirisk underbyggede, teoretiske begreber af praktisk betydning. Hvilket i sidste instans skulle give flere handlemuligheder.

Innovationsprocessen eller rettere den teknologiske innovationsproces er den proces, hvorunder praktisk fungerende nye teknologier skabes. Den teknologiskabende eller -formende proces er en *vidensopbygnings-* eller *søgeproces*, der som mål har at *udvide de teknologiske kapabiliteter*.

Ønsket er her at opbygge en *teoretisk skitse* af udviklingen af den teknologiske innovationsproces. Til det formål opstilles en analogi. Inspirationen er hentet fra dynamikken hos Aristoteles, eller måske rettere fra dagligdags sund fornuft. Dynamikken som fysisk disciplin er læren om legemers bevægelse under kraftpåvirkning. Groft formuleret var betragtningsmåden hos Aristoteles den, at der er proportionalitet mellem den resulterende kraft, der virker på et legeme, og den hastighed, hvormed dette legeme bevæger sig. Den grundlæggende påstand er derfor her, at der er en lang række lighedspunkter mellem et legemes bevægelse ifølge Aristoteles og innovationsprocessens udvikling:

1) Som omtalt er den *teknologiformende proces* en *vidensopbygnings-* eller *søgeproces*, som er rettet mod udvidelse af de teknologiske kapabiliteter. Svarende til fysiske legemers bevægelse bevæger denne kapabilitetsudvidelsesproces sig i bestemte *retninger* i et rum og har givne *hastigheder* i dette rum. Her er der dog en forskel. Fysiske legemer begrænser sig til at bevæge sig i det fra dagligdagen kendte tredimensionale rum. Hvorimod den teknologiformende proces kan bevæge sig i alt fra et en-dimensionalt til et mange-dimensionalt teknologisk mulighedsrum. Alt afhængig af hvor mange størrelser der optimeres på en given teknologisk udviklingsvej.

2) Den teknologiformende proces er ligesom fysiske legemers bevægelse bestemt i sit *forløb* af et *samspil* mellem *forskellige faktorer*. Dette samspil er *historisk betinget*, idet visse faktorer og vekselvirkninger er betydende i visse *perioder*.

3) Den teknologiformende proces er ligesom fysiske legemer i bestemte *perioder* påvirket af bestemte *bevægelsesgivende faktorer*, der svarer til fysikkens kræfter. Disse kaldes derfor *teknologiformende kræfter*. Sådanne kræfter har ligesom fysikkens kræfter *retning* og *styrke* og er almindeligvis virkende over en længere periode. De tildeler søgeprocessen en given *retning* og *hastighed* i et mangedimensionalt teknologisk mulighedsrum. I lighed med betragtninger hos Aristoteles har søgeprocessens bevægelse *samme retning* som den teknologiformende kraft. Ligesom dens *hastighed vokser med størrelsen* af den teknologiformende kraft.

Hvordan fastslås retning og hastighed af den teknologiformende proces i den konkrete analyse? *Orienteringen* af forløbet af den teknologiformende proces er bestemt af, hvilke retninger de tekniske data rent faktisk bevæger sig i. Når teknologiske innovationer afløser hinanden, som perler på en snor, på en given teknologisk udviklingsvej. *Hastigheden* bestemmes af en vurdering af, i hvor hurtig takt betydningsfulde innovationer afløser hinanden på en given teknologisk udviklingsvej.

Hvordan fastslås retning og styrke af de teknologiformende kræfter? *Retningen* er bestemt af de mål og eventuelle specifikationer, som magtfulde aktører opstiller for ønskede teknologiske innovationer. *Styrken* er givet ved en kvalitativ vurdering af, hvor magtfuld den ene betydningsfulde aktør er i forhold til den anden. Dvs. størrelsesordenen af de ressourcer osv. vedkommende person, virksomhed eller institution besidder.

Der må derfor endelig fremhæves det forbehold, som også er nævnt indledningsvis. At der vel at mærke er tale om en *teoretisk skitse* og ikke et

mere eksakt teoretisk billede af udviklingen af den teknologiske innovationsproces. Som det ses ovenfor, er det ikke muligt at opstille præcise definitioner af, hvad *hastighed* og *styrke* er. Vurderingerne af, hvad der karakteriserer en betydningsfuld innovation, og hvor magtfuld en aktør skal vurderes i forhold til en anden, er nemlig i særlig grad subjektivt influerede. Her kan kun gøres kvalitative vurderinger, ikke mere eksakte kvantitative.

Disse forbehold betyder imidlertid ikke, at den teoretiske skitse ikke har *praktisk* betydning: De forhold teorien skitserer er meget grundlæggende. I en praksis, der er rettet mod at præge innovationsprocessens forløb og resultat, må de almindeligvis indgå som overvejelser. Nemlig over hvilke faktorer man som forsknings- og teknologipolitisk aktør spiller med og mod. Den teoretiske skitse kan ikke kun medvirke til at lave bedre kvalitative analyser af samtidige og fortidige teknologiske innovationsprocessers forløb og deres iboende drivkræfter. Men også kvalitative prognoser over mulige fremtidige forløb. Sådanne indsigter er af betydning som baggrund for kvalificerede *forsknings- og teknologipolitiske satsninger* på ny teknologi. Ligesom de er af betydning som forudsætning for *teknologivurdering*, der vurderer sandsynlige, fremtidige konsekvenser af innovationsprocesser.

Der eksisterer en relevant innovationsteoretisk forskningstradition på feltet. Den er enig med denne artikel i *teoretisk* at konstatere, at teknologisk innovation har et forløb som en *banekurve* (trajektorie) i et mangedimensionalt teknologisk mulighedsrum. Denne bevægelses foløb er kendetegnet ved sin *retning* og *hastighed*. Hvor et *selektivt miljø* har indflydelse på, hvilke banekurver, der skal følges i det teknologisk mulighedsrum. Et *teoretisk* begreb om *teknologiformende kræfter*, der er defineret ved deres *retning* og *styrke*, og den *aristoteliske forståelse* af innovationsprocessens dynamik er imidlertid ikke formuleret i den innovationsteoretiske diskussion. Her kan

nævnes forfattere som Rothwell & Zegveld (1985), Nelson & Winter (1977), Dosi (1982), Sahal (1985). Begreber som "kræfter" og "drivkræfter" nævnes enkelte gange i forbifarten hos nogle af disse, men ikke som en del af en *teoridannelse*.

Den problemstilling, som søges besvaret i denne artikel er hermed følgende:

- A) Hvordan er halvlederteknologiens innovationshistorie i det væsentlige forløbet frem til 1980, og hvilke faktorer bestemte dette forløb?
- B) Herunder: Kan den halvlederteknologiske innovationsproces forstås som bevæget af *teknologiformende kræfter*, som er karakteristiske for givne *udviklingsperioder*, med *retning* og *styrke*, der tildeler søgningen efter innovationer et bestemt *forløb* med given *retning* og *hastighed*—idet hastigheden *vokser* med styrken?

Udviklingen af den halvlederteknologiske innovationsproces kan historisk deles op i fem udviklingsfaser, svarende til perioder karakteriseret ved bestemte dominerende teknologiformende kræfter:

- 1) Opfindelsesfasens 1. del 1920-40
- 2) Opfindelsesfasens 2. del 1945-50
- 3) Den bipolære transistor-teknologi 1950-58
- 4) Den bipolære IC-teknologi 1958-65
- 5) Den unipolære IC-teknologi 1965-80

Den empiriske analyse, som er en opsummering, skærping og udbygning af pointer i skriftet: "Halvlederteknologiens udvikling: mellem militære og civile kræfter..." IMFUFA-tekst 153/1988 af Hans Hedal, er opdelt i ovenstående fem afsnit. Det enkelte afsnit er disponeret på følgende måde:

- 1) innovationsprocessens bevæggrunde (f.eks. en kapløbssituation) og betydningsfulde aktører
- 2) interesser, ønsker, specifikationer og mål afledt af disse bevæggrunde
- 3) betydningsfulde aktørers teknologipolitiske styrkeposition og magtmidler
- 4) den videnskabelige baggrund
- 5) innovationsprocessens faktiske forløb
- 6) sammenfattende beskrivelse af innovationsprocessens forløb som bestemt af en teknologiformende krafts samspil med andre afgørende faktorer (hvor kraften har styrke og retning, og innovationsprocessen har hastighed og retning som konsekvens af den påtrykte kraft)

2. Opfindelsesfasens 1. del (1920-40)

Den videnskabelige baggrund for halvlederteknologien

Den videnskabelige udforskning af halvledere begyndte ret uanseligt i første halvdel af 1800-tallet. Formentlig gjordes den første betydningsfulde videnskabelige opdagelse på halvleder-området af M. Faraday i 1833. Han opdagede, at den elektriske modstand i sølvsulfid havde negativ tempera-

turkoefficient. Denne egenskab adskilte dette stof fra andre elektriske ledere, nemlig metaller, hvis modstand voksede med temperaturen. I de næste 50 år øgedes den videnskabelige forståelse af halvledere meget langsommeligt. (Pearson, 1955, s. 1794).

Der blev dog gjort tre yderligere fundamentale opdagelser i denne periode:

I 1839 observerede Bequerel, at der opstod en spænding på forbindelsesstedet mellem en leder—det naturvidenskaben nu kalder en halvleder—og en elektrolyt, når dette forbindelsessted blev belyst. I dag kaldes denne virkning for den fotoelektriske effekt; og den opstår kun ved halvlederkontakter. I 1873 opdagede W. Smith, at visse stoffer ændrede ledningsevne ved belysning. Det fænomen der nu kaldes fotoledning. Endelig i 1874 opdagede F. Braun, at kontakten mellem metaller og halvledere virkede ensrettende overfor elektrisk strøm. (Braun, 1979, s. 31).

Omkring 1885 begyndte forskningsinteressen overfor halvledere at vokse med opdagelsen af punktkontakt-ensrettere.

Den videnskabelige demonstration af eksistensen af radiobølger af H. Hertz i 1888 åbnede op for et potentielt behov for en egnet detektor for radiobølger. Men det blev ikke erkendt før i 1904, at halvleder-ensrettere var egnede til dette formål. Omkring dette tidspunkt opdagede forskellige forskere, at punktkontakter på blyulfid, siliciumcarbid, tellur, silicium osv. alle var gode detektorer af radiobølger. Samtidigt blev radiorøret også opfundet. Det kunne også anvendes som detektor for radiobølger, idet det var en udmærket ensretter. Derfor faldt interessen for punktkontaktensretteren og kun få videnskabeligt interessante bidrag fremkom i en længere årrække. (Pearson, 1955, s. 1794-5).

Derudover skulle to fysiske opdagelser foretaget i slutningen af 1800-tallet få afgørende betydning for den videnskabelige udforskning af halvledere: W. Thompson opdagede, at visse materials elektriske mod-

stand ændredes i et magnetisk felt. E.H. Hall konstaterede i 1879, at der kunne etableres en spænding mellem modsatte overflader af en plade i et magnetisk felt—den såkaldte Hall-effekt.

En ny fysikdisciplin var ved at vokse frem. Den såkaldte faststof-fysik, der var studiet af de faste stoffers fysiske egenskaber. En opdagelse af betydning for den fremvoksende faststoffysik var Einstein's anvendelse af Planck's kvante-hypotese (1900) ved forklaringen af den fotoelektriske effekt i 1905. Et af de steder, hvor man studerede den fotoelektriske effekt, var Berlin, hvor fysikeren R.W. Pohl var blandt dem, der beskæftigede sig med problemet. Arbejdet startede i Göttingen i begyndelsen af 20'erne. Det første stof, der blev undersøgt var zinksulfid i pulverform. Man opdagede en fysisk sammenhæng mellem ændringen i ledningsevne og pulverets luminiscens ved belysning. Ved års omhu opbyggede Pohl, Hilsch og andre majsommeligt det fysiske begrebsapparat, der dannede grundlaget for nutidens halvleder-fysik. (Braun, 1979, s. 32-34).

Det billede, der opstod i begyndelsen af 1930'erne, syntes at vise, at elektronerne i en isolator normalt er stærkt bundet til deres respektive atomer. De kunne imidlertid befries af lys, og kunne så bevæge sig over en vis afstand under påvirkning af et elektrisk felt. Elektronens vej i en isolator begrænses af de forskellige ufuldkommenheder, der betegnes som donor-centre, og som almindeligvis består af ganske små mængder af den rette type urenhed. Navnet donor-centre fik de på grund af deres rolle som elektron-donorer til den elektriske ledningsproces. Man havde også fået afklaret, hvordan luminiscens, fotoledning og krystalfarvning forholder sig til hinanden og til krystallernes optiske absorptionsspektrum. Nogle af de ældre fysiske begreber overlevede endnu en tid. (Braun, 1979, s. 34-5).

Selv om de fleste af mellemkrigsårenes forholdsvis få fysikere arbejdede indenfor kerne- og atomfysikken, skete der dog også andre vigtige nyudviklinger indenfor faststoffysikken i de år. Teorier, der oprindeligt var

udviklet for at forklare fænomener indenfor atom- og kernefysikken, viste sig anvendelige ved forklaringen også af faststoffysiske spørgsmål. Tidens store teori var *kvantemekanikken*, der først og fremmest var udsprunget af Planck's kvante-hypotese (1900) og de velkendte fysiske bølge-ligninger. Ved at bringe disse sammen ud fra det synspunkt, at lys i visse situationer opfører sig som en bølge og i andre situationer som partikler (fotoner), lykkedes det *Schrödinger* at opstille sin berømte ligning: Schrödinger-ligningen, der blev grundlaget for kvantemekanikken. De vigtigste konsekvenser for faststoffysikken afklaredes i løbet af de næste seks-syv år af Sommerfeld, Bloch, Wilson og mange andre fysikere. (Braun, 1979, s. 36-7).

Man blev for det første klar over, at elektroner i et metal opfører sig som en meget speciel form for gas. Dens mest bemærkelsesværdige egenskab er, at ikke to partikler har nøjagtig samme energi. Energitilstandene i et fast stof er ordnede i bånd: når et bånd er fyldt, må yderligere elektroner gå over til det næste. Mellem båndene er der forbudte intervaller, og elektronerne kan ikke have energier, der falder indenfor disse intervaller. Dette billede af elektronerne i faste stoffer kaldtes de faste stoffers båndteori. Båndteorien opdelte på smukkeste måde stofferne i *metaller* og *isolatorer* i god overensstemmelse med de eksperimentelle iagttagelser. Halvlederne faldt imidlertid ikke på plads inden for den nye teori lige med det samme. Der var flere grunde til dette: Urenheder og mikroskopiske fejl i materialets indre opbygning kan ændre et stofs fysiske egenskaber, ikke mindst den elektriske ledningsevne. Dette gjorde opklaringen af halvlederproblemerne til en vanskelig og langvarig proces.

Derudover optrådte der endnu en vanskelighed: Ved at måle et magnetisk felts virkning på lederen eller halvlederen var det muligt at fastslå følgende. Nemlig hvorvidt strømmen transporteres af de negativt ladede elektroner eller i tilknytning til positivt ladede partikler. Til stor

forvirring for pionererne på dette område måtte det konstateres, at det i mange tilfælde er positivt ladede partikler, der bidrager til strømmen.

Gåden opklaredes gennem båndteoriens videreudvikling. Det viste sig, at denne effekt frembringes af en ledig plads, et hul, i et bånd der ellers er fuldt af elektroner. Derfor kaldes en sådan ladningsbærer et hul. Et hul er en positiv ladningsbærer frembragt af mange elektroners kollektive bevægelser i et næsten fuldt bånd.

I en ægte halvleder er der ligeså mange elektroner, som der er huller, fordi hver elektron, der bringes op i ledningsbåndet, efterlader sig et hul i det fulde bånd (det man også kalder valensbåndet). Der er lige så mange positive som negative ladningsbærere. I en halvleder med forurenede urenheder, der opførte sig som elektron-donorer, er der imidlertid flere *negative* ladningsbærere end positive. Den betegnedes derfor som en *N-type* halvleder. I en halvleder forurenede med atomer, der repræsenterer et underskud af elektroner er der derimod færre negative ladningsbærere end positive. Denne har derfor overskud af *positive* ladningsbærere. En sådan halvleder betegnedes derfor som en *P-type* halvleder. Opklaringen af disse forhold tog meget lang tid. Selv i dag er den kun fuldt ud gennemført i detaljer for en begrænset antal stoffer. En af forhindringerne i dette opklaringsarbejde var vanskelighederne ved at fremstille tilstrækkeligt rene stoffer. Halvlederarbejdets renhedskrav lå langt ud over, hvad *kemien* i 30'erne kunne klare. En anden forhindring var vanskelighederne med at dyrke krystaller af tilstrækkelig høj kvalitet. At dyrke krystaller af stoffer med højt smeltepunkt, f.eks. silicium var meget vanskeligt, og gode silicium-krystaller eksisterede ikke før i 1950'erne. (Braun, 1979, s. 37-41).

Mens hele denne grundlæggende teoretiske forskning stod på, og enkelte fysikere fortsatte deres udforskning af halvledere med henblik på at afklare deres egenskaber, eksperimenterede teknikerne. De prøvede sig frem med mange forskellige komponenter uden at bekymre sig alt for

meget om teorien bag dem. I enkelte tilfælde lykkedes det dem at frembringe noget brugeligt. I andre tilfælde mislykkedes bestræbelserne på grund af manglende fysisk forståelse af halvledernes egenskaber. Kobberoxid-og selen-ensrettere blev produceret i store mængder, til trods for at teorien for deres virkemåde var temmelig uklar. Selve det, at sådanne indretninger eksisterede, udfordrede fysikerne til strækkeligt til, at der blev lavet et stort antal forskningsarbejder om ensretter-teori i slutningen af 30'erne. Det blev først og fremmest berømte fysikere som Mott, Shockley og Davydov, der bidrog til en teori, som gav en *tilfredsstillende forklaring på ensretningen af en vekselstrøm gennem en halvleder-metal-kontakt* som f.eks. selen/metal-kontakten. Teoriens væsentligste postulat var, at halvlederen kommer i *underskud* for strømbærere nær kontakten med metallet. Dette skaber en barriere, der forhindrer strømmen af elektroner i at opnå ligevægt. Når der påføres en spænding i retning af at forøge barrierens bredde, ville man ikke få nogen strøm. Når den påførte spænding derimod *mindsker* barrieren, kan strømmen passere. På denne måde opnåedes en ensretter-kontakt. Teorien for halvleder-metal-kontakter havde mere eller mindre fundet sin endelige udformning ved 2. verdenskrigs udbrud. (Braun, 1979, s. 41-42).

Opfindelsesprocessens forløb

Som tidligere nævnt havde halvledarforskningen flere gange vist sig specielt lovende, hvad angik elektrotekniske anvendelser. I 1874 opdagedes det, at kontakter mellem bestemte stoffer ensrettede. I begyndelsen af det 20. århundrede blev halvlederensrettere af punktkontakttypen anvendt til at detektere radiobølger. Den faststof-fysiske forskning var stadig et ret

udviklet felt, og i mellemkrigstiden udvikledes som nævnt en række elektriske komponenter, der havde baggrund i halvlederforskningen. Det drejede sig om fotoceller, selen- og kobberoxidensrettere. Meget beroede imidlertid på erfaringsmæssig prøven sig frem pga. en manglende dybere videnskabelig forståelse. (Pearson, 1955, s. 1794-95). Der var altså tale om en fysikdisciplin, som virkede særdeles lovende i elektroteknisk henseende, ovenikøbet med tanke på *det relativt beskedne teoretiske stade man befandt sig på*. De faststof-fysiske eksperter havde derfor grund til at håbe, at de kunne gøre nye elektrotekniske opfindelser på grundlag af halvledermaterialer.

Fra 20'erne og frem til den amerikanske fysiker Shockley's endelige opfindelse af et succesfuldt faststof-forstærkerprincip i 1950 var der mange forskere og ingeniører, som prøvede at opfinde en forstærker-effekt. Det forsøgte de at gøre på en af to måder: Enten ved at forsøge at styre en stor strøm i et stykke krystallinsk stof med en *lille strøm* (det der senere førte frem til Shockley's fladekontakt-transistorprincip) eller ved at styre strømmen ved hjælp af en *feltspænding* (det der senere førte frem til Shockley's felteffekt-transistorprincip). Ideen om faststof-forstærkeren bredte sig mere og mere til andre forskere inden for feltet, sådan at den i hvert fald før II. verdenskrig var endt med at blive fælles tankegods inden for det faststoffysiske fagområde. (Braun, 1979; s. 11-12, 36-44, 58, 70).

Denne tidlige indsats var kendetegnet ved mange forskellige opfinderes uorganiserede og spredte individuelle indsats. Ifølge W. Gosling er det praktisk taget sikkert, at de forskellige opfindere var *ubekendte* med hinandens arbejder. Der var derfor ikke tale om nogen bredere systematisk indsats og søgeprocessen skred derfor langsomt frem. Resultatet blev da også, at ingen af de faststof-forstærker-principper, som blev opfundet inden 2. verdenskrig, kunne anvendes i praksis. (Gosling, 1973, s. 10).

De første ansøgninger om et patent på et faststof-forstærkerprincip blev indgivet i slutningen af 1920'erne af fysikeren dr. Lillienfeld, der på

daværende tidspunkt var fysikprofessor på universitetet i Leipzig. I 1925 ansøgte Lillienfeld om et canadisk patent på et forslag til en *spændingsstyret faststof-forstærkerkomponent*, der var baseret på poly-krystallinsk kobbersulfid, som var en halvleder. En patentansøgning fra 1927 beskriver et forslag til en *strømstyret faststof-forstærker*. Denne bestod vekselvis af metalliske og halvledende lag. I 1928 indgav Lillienfeld en patentansøgning indeholdende et forslag til en *spændingsstyret forstærknings-komponent* baseret på kobbersulfid med et tyndt aluminiumslag som styringselektrode. Det vides ikke, om han rent faktisk konstruerede disse komponenter, men meget sandsynligt var hans ideer næppe realisable på grund af *den tids mangel på faststof-fysisk indsigt*. (Gosling, 1973, s. 10).

I 1930 ansøgte H.C. Weber fra Industrial Development Corporation i Massachusetts om patent på et forslag om en *forstærkningskomponent*. Denne bestod af en mangelags-struktur af forskellige kobberforbindelser med indbygget spiralformet kontrolelektrode. Der kendes ingen praktiske resultater. (Gosling, 1973, s. 10).

I 1937 ansøgte den tyske ingeniør O. Heil om et britisk patent på en ide om en *spændingsstyret faststof-forstærker* baseret på kobberoxid, og i 1936 ansøgte Holst og van Geel fra den hollandske virksomhed Philips om et patent på et faststof-forstærker påhit, hvor en styringselektrode lå i en selen/sølv kontaktflade. Dette var formentlig en ide til en strømstyret komponent. Van Geel fortsatte sit arbejde, og i 1943 og 45 udtog han patenter på nogle *strømstyrede mangelags-strukturer* (f.eks. en selenoxid-kobberjodid-selenoxid struktur) med meget tynde isolatorlag (polystyren) mellem de enkelte halvlederlag. En lignende struktur blev foreslået i et patent fra 1939 af Glaser, Koch og Voigt. (Gosling, 1973, s. 10).

I 1939 påviste Hilsch og Pohl rent videnskabeligt tilstedeværelsen af *spændingsstyret forstærkning* i en krystal af kaliumbromid med indbygget kontrolelektrode. Denne ide fik ingen praktisk anvendelse, idet fænomenet

var for langsomt og kun virkede, når krystallen blev opvarmet. Men det viste, at faststof-krystaller kunne tjene som forstærkere i elektroniske kredsløb, og det var alt Hilsch og Pohl ønskede at demonstrere. Pohl, der forskede på universitetet i Göttingen, var aldrig i tvivl om, at faststof-forstærkeren ville blive til virkelighed. Men han så sin opgave som rent *grundvidenskabelig*—forstå krystallernes fysik, ikke at skabe teknologisk brugbare elektroniske komponenter. (Braun, 1979; s. 36, 43).

Ligeledes i 1939 placerede ledelsen på *Bell Laboratories* i USA to fysikere: eksperimentatoren W.H. Brattain og faststof-teoretikeren W. Shockley, på et projekt med at konstruere en *faststof-forstærker* med halvlederen kobberoxid (Misa, 1985, s. 256). Dette materialevalg var påvirket af erfaringen med kobberoxid-ensrettere. Ideen var at indføre et lille kontrolgitter i oxidlaget på kobberet i håbet om, at *spændingen* på dette ville kunne *styre den strøm*, der gik igennem halvlederen. I eksperimenter af senere dato anvendtes forskellige kobberplader på kobberoxidens overflade i et forsøg på at frembringe en forstærker baseret på ladninger induceret i halvlederen. Alle disse forsøg var fulstændigt resultatløse. At gitteret ikke duede, overraskede ikke Brattain; for han og J.A. Becker havde allerede overbevist sig om, at det var umuligt at lave en faststof-forstærker ved at indsætte et gitter i halvlederen. (Braun, 1979, s. 57).

Ingen af de beskrevne udviklinger førte som sagt til noget praktisk anvendeligt teknologisk resultat.

Sammenfatning

1) Hvilke faktorer bestemte så halvlederteknologiens udvikling frem til 2. verdenskrig?

For det *første* var det *videnskabelige grundlag* afgørende. Halvleder-materialers virkemåde og opbygning er ganske komplicerede og derfor vanskeligt tilgængelige for datidens uudviklede forskning på feltet. Der manglede stadigvæk en *stor grundvidenskabelig indsats* indenfor udforskningen af faste stoffer, specielt halvledere. Hvilket forhindrede opfindelsen af praktisk anvendelige faststof-forstærkere.

For det *andet* var *drivkræfterne* bag den halvledertekniske udvikling afgørende. Hvilke var disse, og hvad var deres *retning* og *styrke*?

Som beskrevet domineredes den teknologiske udviklingsproces på dette tidlige stadie af faststof-fysiske forskere og ingeniører. Disse *valgte* i kraft af deres videnskabelige ekspertindsigt at opdyrke ideen om en faststof-forstærker. Disse eksperter bevægedes af drivkræfter, der tildelte opfindelsesprocessen retning og fremdrift:

En motiverende kraft var det nævnte *profitmotiv*—en eventuel afløser for elektronrørsteknologien kunne kaste enorme profitter af sig. Dette profitmotiv viste sig blandt andet igennem, at næsten alle opfindere indgav ansøgning om *patent* på deres faststof-forstærker ideer. Elektronikken var trods alt blevet til en betydelig industriel aktivitet i mellemkrigstiden. Enhver forbedring, der overskred den eksisterende radiorørsteknologis begrænsninger, ville kunne revolutionere elektronikken og give enorme profitter. At forbedringer var tiltrængt er indlysende, når man betragter rørenes mange svagheder: de var store, skrøbelige, havde en forholdsvis kort effektiv levetid og—værst af alt—var stærkt strømforbrugende. Dette sidste bidrog betragteligt til at øge omfanget af ethvert apparat, der

indeholdt rør. Fordi det også måtte omfatte tilhørende ensrettere og udjævningskredsløb, der kunne skaffe strøm til opvarmning af katoderne og jævnstrøm til anoderne. Disse krav var særligt problematiske for transportable apparater som radioer og walkie-talkies. (Braun, 1979, s. 42-43).

Andre drivkræfter bag den halvlederteknologiske udvikling end håbet om at tjene penge spillede også en rolle. *Faglig prestige* var en væsentlig bevæggrund blandt forskere og ingeniører—den prestige der kom af at være den første som frembragte en meget eftertragtet teknologisk mulighed (Braun, 1982, s. 182). Nemlig faststof-forstærkeren, der kunne løse de tekniske problemer, man løb ind i ved anvendelsen af *radiorør* og *relæer*. Braun og MacDonald skildrer dette mål, det vil sige forestillingen om en faststof-forstærker, som en "gammel drøm", der var temmeligt vedholdende blandt forskere og opfindere. (Braun, 1979, s. 57).

Alt i alt var de teknologiformende kræfter dermed: *Individuelle eksperter bevæggrunde i samspil med samfundets behov for en afløser for eksisterende elektroteknik.*

De teknologiformende kræfters *styrke* viste sig at være ringe. Den uorganiserede, geografisk og tidsligt spredte indsats af individuelle opfindere magtede ikke en storstilet, koncentreret og systematisk opfindelses- og udviklingsindsats på videnskabeligt grundlag. De teknologiformende kræfters *retning* eller praktiske mål var at opfinde

- en faststof-forstærker, der kunne bruges i elektronisk kommunikationsteknologi
- som samtidigt var markedsmæssigt profitabel

2) Hvad var så virkningen af dette sæt af bestemmende faktorer?

Følgen af disse teknologiformende kræfters aktivitet var, at innovationsprocessen blev påtrykt et bestemt *forløb*. Innovationsprocessen fik en *meget langsom hastighed*: Hele mellemkrigstiden passerede, uden at der blev

opfundet anvendelige faststof-forstærkere. Hastigheden var derfor nærmest nul. Da man ikke kom nævneværdigt ud af stedet, fik innovationsprocessen *ikke nogen egentlig retning*. Begge dele i overensstemmelse med, at de teknologiformende kræfter var for svage til at slå igennem med praktisk brugbare resultater.

3. Opfindelsesfasens 2. Del (1945-50)

Den videnskabelige baggrund

Under USA's deltagelse i 2. verdenskrig oprettedes der imidlertid nye statsfinansierede organisationer, der viste sig i stand til at lede nationens videnskabeligt-teknologiske ekspertise i en storstilet krigstidsindsats. Som et element i denne indsats iværksatte staten et program for udforskning af halvledere med henblik på udvikling af egnede radar-detektorer. Disse skulle anvendes i våbenkapløbet med de fjendtligsindede stormagter. (Misa, 1985, s. 257-8).

De upålidelige silicium-detektorer, man under krigen havde været henvist til at anvende, havde sat gang i stærke bestræbelser på at opnå en dybere indsigt i disse komponenters virkemåde. Langt om længe forstod man, at en vigtig faktor—ja måske den vigtigste—var beherskelsen af de anvendte materialer. Bedre komponenter kunne kun skabes gennem en bedre kontrol med stoffet og en forøgelse af dets kvalitet og ensartethed.

De to materialer, man valgte til nærmere undersøgelse under krigen, var *germanium* og *silicium*. Baggrunden for dette valg er ikke helt klar. Men

tilsyneladende var det disse materials erfaringsmæssigt gode virkemåde i radar-detektorerne, der spillede hovedrollen. (Braun, 1979, s. 46-47).

Der var også andre grunde til, at man valgte silicium og germanium. Begge er *grundstof*-halvledere, og man ventede derfor, at *kemien* ved deres fremstilling ville være forholdsvis simpel. Som urenhed kræves der kun bevarelse af et enkelt grundstof, mens alle andre grundstoffer så vidt muligt skal fjernes. Dette er ikke tilfældet ved halvledere bestående af kemiske forbindelser, hvor et af fremstillingsproblemerne netop er at opretholde det rette forhold mellem de indgående grundstoffer. En anden vigtig betragtning ved valget af germanium og silicium var deres holdbarhed. Både silicium og germanium er hårde, stærke (omend lidt skøre) stoffer af metallisk karakter. Der er ikke tale om, at de smuldrer ved berøring eller forandres under tropiske forhold.

Efter at have besluttet sig for germanium og silicium som de mest lovende materialer, gik amerikanerne i gang med at undersøge dem i stor skala og på systematisk måde. Strålingslaboratoriet på Massachusetts Institute of Technology fik til opgave at organisere forskningen omkring germaniums og siliciums fundamentale egenskaber. Meget af arbejdet fordeltes på tilsyneladende temmelig tilfældig måde mellem en række forskningslaboratorier uden for MIT. Mange universiteter og industriforetagender blev bedt om at arbejde med disse materialer. Efter alt at dømme havde briterne og måske endda også tyskerne i 1939 været længere fremme i halvleder-ensretter-forskningen, og det amerikanske arbejde støttede sig i alle tilfælde i begyndelsen til de britiske undersøgelser. Men omfanget af den amerikanske halvleder-forskning og den indsats, der blev gjort, var af en sådan karakter, at denne situation snart ændrede sig. Hele 30 eller 40 amerikanske laboratorier fik til opgave at undersøge halvledere med henblik på anvendelse i radar. (Braun, 1979, s. 46-48).

På trods af den store krigstidsindsats på basis af den *kvantemekaniske teori* havde den fysiske forskning alt i alt *begrænset succes* med at forstå halvlederfænomener. Grunden til dette var, at halvlederfænomener var *meget komplicerede og strukturfølsomme*. (Pearson, 1955, s. 1800-01).

Opfindelsesprocessens forløb

Den massive statsdirigerede innovationsindsats i USA under 2. verdenskrig betød en midlertidig afbrydelse af den før krigen indledte halvledertekniske opfindelsesproces på *Bell Laboratories*. Adskillige forskningsinstitutioner i USA deltog desuden i dette forskningsprogram, hvorigennem de oparbejdede en grundfaglig basis indenfor halvlederforskning. Dette skabte mulighed for, at de mest fremskredne af forskningsinstitutionerne kunne true Bell Labs i *ekstraprofitkapløbet* om at opfinde en faststof-forstærker. Ved krigens afslutning stod privatkapitalistisk finansierede virksomheder imidlertid stærkt overfor universiteterne i den videre opfindelsesproces. Idet den massive statslige forsknings-finansiering bortfaldt. Dette galdt især *Bell Laboratories*.

Bell var den amerikanske koncern AT&T's (American Telephone and Telegraph) forskningsafdeling, rettet mod teknisk fornyelse indenfor telekommunikation. Den havde en multidisciplinær stab på over 2000 videnskabsmænd og ingeniører af højeste internationale standard. Den var verdens største erhvervsmæssige forskningsorganisation. Alt i alt besad Bell Labs derfor en organisatorisk, kvalifikationsmæssig og finansiell styrkeposition.

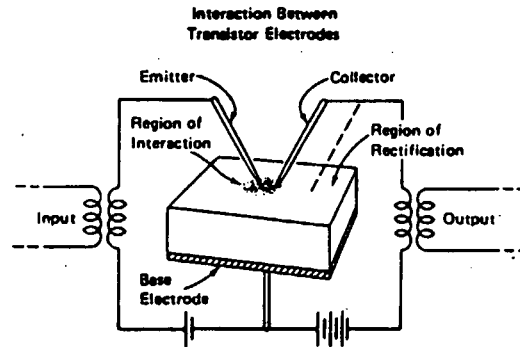
Bell var under reorganisation efter krigstidens gennemgribende forskningsindsats. På initiativ fra Bell's ledelse oprettedes der en ny gruppe

til gennemførelsen af en fundamental kortlægning af alle de sider af faststof-fysikken, der skønnedes at være de mest relevante for *kommunikationsudstyr*. (Braun, 1979, s. 60-61). Der, hvor *muligheden var størst for at forstå halvlederfænomener*, var de *simple* halvledermaterialer *silicium* og *germanium*, som i stort omfang var undersøgt under krigen på baggrund af den kvantemekaniske teori. Den bedste fremgangsmåde på halvlederområdet var derfor at *koncentrere sig* om disse to simple halvledergrundstoffer og prøve at forstå dem først. Dette var udgangspunktet for halvlederarbejdet på Bell efter 2. verdenskrig, som nu *optrappede* søgningen efter en faststof-forstærker. (Pearson, 1955, s. 1800-1).

Søgningen efter felteffekt-transistoren startede i 1945 på Bell Labs: Fysikeren Shockley's eksperimenter med felteffekten slog imidlertid fejl. I 1946 udkastede fysikeren Bardeen en teori om overfladetilstande i halvledermaterialet. I slutningen af 1947 lykkedes det fysikeren Brattain på baggrund af de indvundne videnskabelige kundskaber, fremstille patenterbare felteffekt-transistorer. Disse var imidlertid ubrugelige som komponenter. Det var ved undersøgelsen af halvlederoverfladen på en sådan felteffekt-komponent med to tætsiddende elektroder, at Brattain og Bardeen opfandt punktkontakt-transistoren d. 23-12-1947.

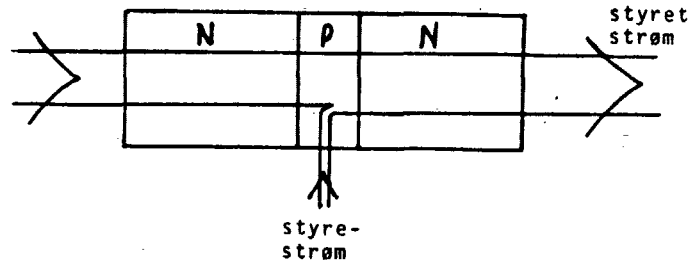
Shockley fastholdt imidlertid sin tro på, at der kunne findes en bedre transistor end punktkontakt-versionen og påbegyndte derefter udviklingen af en teori for fladekontakt-transistoren. I slutningen af 1948 færdigudviklede G. Teal og J.B. Little ligeledes fra Bell en fremstillingsproces for germanium en-krystaller, og i slutningen af 1948 færdigudviklede G. Teal i samarbejde med M. Sparks en modificeret proces for fremstilling af germanium en-krystaller. Denne proces muliggjorde realiseringen af (NPN) fladekontakt-strukturen i Shockley's fladekontakt-transistordesign. Herved realiseredes den teoretisk forudsagte fladekontakt-transistor eksperimentelt.

Konstruktionen af den første pålidelige version af denne komponent fuldførtes i 1951.



Figur 3.1 Punktkontakt-transistoren som forstærker (Misa, s. 260)

Da forstærkningseffekten foregik inden i halvlederstoffet kunne den bedre specificeres, idet materialets kvalitet nu kunne kontrolleres omhyggeligt. Fladekontakt-transistorer var derfor en hel del nemmere at genskabe end punktkontakt-transistorer og derfor i det lange løb de letteste at *masseproducere*. Bell foretrak derfor i det lange løb den dyrkede fladekontakt-transistor, da den var mere i overensstemmelse med Bell's interesse i *bred profitabel* udnyttelse af transistorteknologien på både militære og civile markeder. (Braun, 1979, s. 61-71, 82) (Golding, 1971, s. 70) (Misa, 1985, s. 264, 269-70) (Shockley, 1976, s. 597) (Teal, 1976, s. 624-26).



Figur 3.2 Fladekontakttransistoren som forstærker

Sammenfatning

1) Hvilke faktorer bestemte så halvlederteknologiens udvikling i perioden 1945-50?

For det *første* var det *videnskabelige grundlag* ligesom tidligere afgørende. Halvlederforskningens kompleksitet betød, at den opfindelsesprocessen koncentreredes om de to relativt simple grundstof-halvledere: *germanium* og *silicium*. Om hvilke man på daværende tidspunkt havde opbygget langt de største videnskabelige kundskaber. De andre halvledermaterialers vanskeligere tilgængelighed fungerede dermed som en art *randbetingelse* for forløbet af den teknologiformende proces.

For det *andet* var *personlige faktorer* afgørende. Nemlig *ekspertbeslutninger* foretaget af fysikerne Bardeen, Brattain og Shockley. Her var især Shockley's beslutning om at opbygge en teori for fladekontakt-transistoren af vidtrækkende betydning.

For det *tredje* var den nye *drivkraft* bag den halvlederteknologiske udvikling afgørende. Hvilken var denne, og hvad var dens *retning* og *styrke*?

Som beskrevet domineredes den halvlederteknologiske udvikling i 1945-50 af Bell Laboratories. Denne institution var verdens største erhvervsmæssige forskningsorganisation med en stab på over 2000 videnskabsmænd og ingeniører af højeste internationale standard. Bell var i modsætning til sine konkurrenter *privatfinansieret* og blev derfor ikke ramt af krigsbevillingernes bortfald efter krigen. Som nævnt besad Bell Labs derfor en organisatorisk, kvalifikationsmæssig og finansiel styrkeposition. *Bell's aktivitet* blev derfor *drivkraften* bag den halvledertekniske udvikling fra 1945-50.

Bell Labs' enestående organisatoriske og kvalifikationsmæssige styrkeposition repræsenterede en *langt større styrke* af drivkraften bag den halvlederteknologiske udvikling end tidligere. Ideformuleringsfasens mange individuelle opfinderes indsats var ukoordineret og som helhed betragtet usystematisk. Denne form for aktiviteter ophørte da også med at have betydning. Efter at innovationsprocessen var blevet indordnet under Bell's akkumulationskrav, havde profitmotivet taget overhånd som fremaddrivende kraft, og de andre bevæggrunde var trængt i baggrunden. Alt i alt var den teknologiformende kraft dermed: *Bell Labs ekstraprofit-kapløb med andre institutioner. Med henblik på at opfinde en faststof-forstærker, der kunne tilfredsstille samfundsmæssige behov.*

Drivkraften bag den halvledertekniske udvikling fik nu en *specificeret retning* givet ved frembringelse af

- a) en halvleder-forstærkningskomponent med kommunikationsteknologisk relevans
- b) masseproduktionsevne
- c) markedsmæssig profitabilitet.

2) Hvad var virkningen af dette nye sæt af bestemmende faktorer?

Følgen af denne nye *meget stærkere drivkrafts* aktivitet blev en ændring af innovationsprocessens *forløb*. Dens *hastighed accelereredes*, og dens *retning*

specificeredes i overensstemmelse med drivkraften: Bell's intensive, men kortvarige efterkrigsindsats endte med et afgørende teknologisk gennembrud. Man opfandt en praktisk anvendelig faststof-forstærker, som tilfredsstillede ovennævnte krav (a,b,c). Dette nye princip kaldte man: *fladekontakt-transistor princippet*. Dette repræsenterede en løsning af det daværende *almene kommunikationsteknologiske problem*.

4. Den bipolære transistorteknologi 1950-58

Interesser afledt af det kommunikationsteknologiske kapløb

Det 20'ende århundredes mest dominerende militært teknologiske igangsætter var 2. verdenskrig. Det var her midlerne for *mobil* krigsførsel fik deres fuldstændige gennembrud i tyskernes "Blitzkrieg" i 1939-41. Under 2. verdenskrig udvikledes krigsførelsen hurtigt til at blive stadigt mere *kompliceret*. Aktiviteterne ved mange forskellige typer af militære enheder, som alt i alt var præget af stor grad af bevægelighed, måtte koordineres ofte over store områder og på kort tid. Behovet for slagkraftige midler, som kunne realisere ledelse og koordination af de militære aktiviteter, øgedes derfor overordentligt. Dette var en udviklingstendens, som fortsatte og forstærkedes i efterkrigstidens våbenkapløb. (Agrell, 1981, s.14). Koreakrigen (1950-53) var i særlig høj grad præget af *mobilitet*. Fronterne forandredes voldsomt fra dag til dag. Koreakrigen virkede derfor i særlig grad igangsættende for kommunikationsteknologisk nyudvikling. Den genskabte

2. verdenskrigs militære kommunikationsteknologiske behov. (Braun, 1979, s. 100). Ved 2. verdenskrigs afslutning eksisterede der derfor et presserende behov i det amerikanske militær for at udvikle de militære kommunikationsmidler. Her var radorørsteknologien en afgørende flaskehals for en krigsførsel karakteriseret ved en høj mobilitet. Kommunikationsudstyr baseret på radorør var for skrøbeligt og uhåndterligt. Våbenkapløbet i efterkrigsårene var derfor karakteriseret af et *militært kommunikationsteknologisk problem*. (Misa, 1985, s. 262-63). Her virkede den spæde transistor-teknologi i særlig grad lovende som løsning. Der forestod imidlertid meget forsknings- og udviklingsarbejde, før militæret kunne realisere de forventede muligheder ved transistor-teknologien. Det amerikanske militær var derfor interesseret i at udvikle transistorer med evne til at arbejde 1) med *højere effekter*, 2) ved *højere frekvenser*, 3) med *lavere støjniveau*, 4) over *større temperaturintervaller* og 5) med *højere pålidelighed* end radorør. Desuden spillede kravet om 6) *masseproduktionsevne* også en stor rolle. Alle vigtige krav til en militær kommunikationsteknologi. Et træk ved teknologien, som militæret derimod *ikke* bekymrede sig om var 7) kravet om *prisbillighed*. Tværtimod var en vigtig teknologipolitisk interesse *forcering* af transistor-teknologiens udvikling uanset omkostningerne. I overensstemmelse med våbenkapløbets pres. Til dette formål iværksatte militæret et teknologipolitisk program, under ledelse af centeret for militærets kommunikationsteknologiske ekspertise: Hærens Signalkorps. (Obenchain, 1952, s. 1287-88).

Våbenkapløbet fra 50'erne og frem skulle imidlertid medføre, at Signalkorpsen afløstes af det amerikanske luftvåben som ledende militær interesse overfor halvlederteknologiens udvikling.

Interesser afledt af missilkapløbet

Våbenkapløbet siden 2. verdenskrig mellem de to supermagter kom først og fremmest til at gælde de våben, der skulle bære kernevåben. Det centrale element blev *evnen til hurtigt og sikkert at træffe mål på modstanderside*. I løbet af 50'erne udvikledes raketvåben, som både hurtigere og sikrere kunne frembære kerneladninger. De såkaldt ballistiske missiler fik stadigt større rækkevidde og blev interkontinentale. Det vil sige fik rækkevidde, der gjorde det muligt at skyde dem fra et kontinent til et andet. (Agrell, 1981, s. 36-37).

Ved kast, der spændte over større dele af jordens overflade, var det altafgørende for at opnå den fornødne nøjagtighed i nedslaget, at raketens frie bevægelse (den *ballistiske* kurve) indledtes på rette måde. Projektillets højde over jorden, hastighed og bevægelsesretning måtte være korrekte når motoren stoppede. Det forudsatte, at opsendelsen i alle detaljer forløb efter beregningerne. Dette stillede krav til de mest udviklede former for styringsautomatik. En sådan styringsautomatik skulle have følgende egenskaber: Den måtte være i stand til at indlæse og behandle måledata, der informerede om den faktiske banekurve. Disse informationer skulle så sammenlignes med den tilsigtede banekurve, der lå lagret som program i en kunstig hukommelse. I tilfælde af afvigelser måtte der beregnes passende korrektioner af raketens bevægelse, der straks skulle bringes til udførelse. Alt måtte ske fuldautomatisk og særdeles hurtigt, for ved hastigheder af denne størrelsesorden ville eventuelle afvigelser udvikle sig katastrofalt, længe inden et menneske kunne nå at reagere. Samtidigt skulle data vedrørende den individuelle rakets bevægelse kunne lagres som program. Det vil sige, at styringsautomatikken skulle kunne programmeres. Udviklingen af længererækkende ballistiske raketvåben forudsatte derfor

udviklingen af en teknologi, der kunne foretage *hurtig og programmerbar automatisk databehandling med høj pålidelighed*. (Thernøe; 1959, s. 76,101-8).

I det tilfælde, at disse raketers bæreevne ikke var stor nok til at løfte et sådant databehandlingssystem, måtte det være anbragt på jorden. Herved blev *højfrekvent datakommunikation* mellem jordstation og raket nødvendig.

Den eksisterende rørbaserede digitale computer kunne under ingen omstændigheder opfylde disse teknologiske krav. Det missilteknologiske problem oplevedes derfor i stigende grad presserende hos det amerikanske militær. Frem for alt hos *Luftvåbnet*, efterhånden som *missilkapløbet* accelereredes. På daværende tidspunkt var den nyopfundne transistor-elektronik den eneste tilgængelige teknologi, som havde sådanne muligheder. Militæret søgte derfor planmæssigt at *forcere* transistor-teknologiens udvikling. I en *retning*, der efterhånden kunne muliggøre realiseringen af de påkrævede former for automatisk databehandling og datakommunikation:

Digitale høj-hastigheds computere og højfrekvent datatransmissionsudstyr krævede begge dele elektroniske komponenter, der kunne forstærke ved (I) *højere frekvenser*. Frembringelsen af sådanne var følgelig en klar militær interesse. Hurtig og sikker styring af kernevåbenbærende missiler frem til mål på modstanderside var en anden nødvendighed. Det betød at militæret krævede komponenter med (II) *høj pålidelighed*. Samtidigt kunne disse komponenter i visse tilfælde udsættes for ekstreme arbejdsbetingelser. For eksempel oversteg den omgivende temperatur indenfor elektronisk styrede raketvåben ofte 75 grader C. Hvilket var den maksimale arbejdstemperatur for de hidtil anvendte germaniumtransistorer. Som følge af denne begrænsning var militæret interesseret i udviklingen af transistorer, der kunne arbejde ved (III) *højere temperaturer*. Desuden spillede (IV) *øget modstandsdygtighed overfor radioaktiv stråling* også en rolle, når man blev i stand til at bruge automatisk styrede missiler som bærere for kernevåben.

Endelig var (V) *masseproduktionsevne* en væsentlig interesse. Med henblik på opbygningen af en storstilet national produktionskapacitet, der kunne forsyne den nationale oprustning. (Misa, 1985, s. 280-81). *Prisbillighed* betød stadig ikke noget for militæret.

Den militære teknologipolitik

Den massive militære teknologipolitiske indsats i 50'erne benyttede sig af en række koordinerede teknologipolitiske virkemidler overfor den videre udvikling af halvlederteknologien:

- 1) *Iværksættelse af en række offentliggørelsesaktiviteter* (bl. a. Bell Symposierne 1951 og 52), der alle var rettet mod selektiv spredning af teknisk viden fra Bell. Især med henblik på formidling af viden til de *amerikanske* virksomheder, der var interesserede i at iværksætte en indsats indenfor den ny teknologi. Denne spredning foregik selvfølgelig under streng militær kontrol. (Braun, 1979, s. 71) (Golding, 1971, s. 71, 292, 327-28) (Misa, 1985, s. 267-68).
- 2) *Opbygning af en grundfaglig basis* i USA indenfor universitetsforskning og produktion af akademisk arbejdskraft på det faststofelektroniske felt. (Golding, 1971, s. 330)
- 3) *Udstedelse af kontrakter til finansiering af grundlæggende forskning og udvikling (FoU)* indenfor halvlederindustrien i USA med det formål at tilvejebringe prototyper og pilotproduktionsprocesser, der tilfredsstillede særlige militære specifikationer. Tabel 4.1 viser, hvorledes de samlede statslig-militære og privatfinansierede udgifter til mere grundlæggende FoU fordelte sig i 50'ernes

afslutning. Da lå den militære interesses økonomiske involvering på 20-25% af det samlede beløb. (Asher, 19977, s. 11) (Golding, 1971, s. 330) (Tilton, 1971, s. 92-3).

Tabel 4.1: Udgifter til halvleder FoU (mio \$) (Asher, 1977, s. 11).

	1958	1959	Januar til april 1960
Statslige støtte i alt	13,9	16,2	6,8
Forsvarsministeriet	12,6	14,4	6,3
Andre	1,3	1,8	0,5
Virksomhedernes andel	41,8	54,6	25,4
I alt	55,7	70,8	32,2

- 4) *Udstedelse af produktionsudviklingskontrakter* med det formål at udvikle og opbygge masseproduktionskapaciteter i USA for halvlederkomponenter med specifikationer, der tilfredsstillede særlige militære behov. (Asher, 1977, s. 70) (Braun, 1979, s. 102) (Golding, 1971, s. 327) (Tilton, 1971, s. 93).
- 5) *Udstedelse af militære indkøbskontrakter* til den amerikanske halvlederindustri med det formål at masseopkøbe komponenter, der tilfredsstillede militære specifikationer. Det drejede sig om de nyeste, mest avancerede (i fht. militære behov) og dyreste produktionsserier, hvor militæret reelt var eneafkøber. Det militære marked nåede sit højdepunkt i relativt omfang i 1960, da militæret tegnede sig for næsten halvdelen af værdien af alle halvlederleverancer (se tabel 4.2). Den militære andel af produktionen var muligvis lige så stor eller større i perioden 1952-54. Næsten alle

de transistorer, der produceredes i 1952 blev købt af militæret.
(Braun, 1979; s. 100, 113-14) (Tilton, 1971, s. 90).

Tabel 4.2 Den samlede produktion af halvledere fordelt på statslige og andre behov, 1955-68. (Tilton, 1971, s. 90).

	samlet produktions- værdi (mio.\$)	statslig andel (mio.\$)	statslig andel %
1955	40	15	38
1956	90	32	36
1957	151	54	36
1958	210	81	39
1959	396	180	45
1960	542	258	48
1961	565	222	39
1962	575	223	39
1963	610	211	35
1964	676	192	28
1965	884	247	28
1966	1.123	298	27
1967	1.107	303	27
1968	1.159	294	25

- 6) *Selektiv fordeling af økonomisk støtte blandt de amerikanske halvledervirksomheder.* Formentlig med det formål at etablere en rationel arbejdsdeling på amerikansk grund mellem

etablerede rørselskaber og nyopstartede "spin-off"-virksomheder. En effektivisering, der var optimal ifht. militærets interesse i at forcere halvlederudviklingens tempo i særligt udvalgte retninger. De store rørvirksomheder havde etablerede og ydedygtige forskningslaboratorier. Derfor tildeltes de fleste FoU-midler formodentlig til de etablerede rørvirksomheder (se tabel 4.3). Rørselskaberne var ofte bundet af et økonomisk engagement i eksisterende profitable stadier af elektronikkomponent-teknologien. Hvilket gjorde dem uvillige til at iværksætte det tekniske udviklingsarbejde, der var nødvendigt for afsætning på det militære marked. Der eksisterede derfor en reel teknologipolitisk interessemodsatning mellem militærets forceringsinteresse og de etablerede rørvirksomheder. Nye virksomheder var ikke bundet økonomisk af eksisterende produktionslinier. Derfor tildelte militæret formentlig de fleste indkøbsmidler til nye virksomheder, der dannedes ved afhopning (spin-off) af videnskabelig-teknisk personale og management fra de eksisterende virksomheder (se tabel 4.3). (Dosi, 1984, s. 164-70) (Golding, 1971, s. 240-61) (Tilton, 1971, s. 77-81 og 93-97).

Tabel 4.3: Fordelingen på firmatype i 1959 af 1) den statslige finansiering af FoU, 2) virksomhedernes egenfinansiering af FoU, 3) halvlederkomponentafsætningen i USA og 4) afsætningen til militæret (Tilton, 1971; s. 91, 94).

	1	2	3	4
	stats-	firma	samlet	militært
	midler	midler	salg	salg
	%	%	%	%
Etablerede firmaer	78	50	37	31
Nye firmaer	22	50	63	69
Ialt	100	100	100	100

Selv om de beskrevne teknologipolitiske virkemidler her er stillet op hver for sig for overskuelighedens formål, så udgjorde de imidlertid en helhed og må bedømmes som sådan. Det samlede sæt af militære teknologipolitiske instrumenter skulle både indvirke på *retningen* og *hastigheden* af den videre halvlederteknologiske udvikling.

Offentliggørelsesaktiviteterne var en nødvendig betingelse for iværksættelsen af en storstilet national amerikansk teknologiudviklingsindsats på halvlederområdet. Der kunne forcere innovationsprocessen i den ønskede retning.

FoU-, produktionsudviklings- og indkøbspolitikken benyttedes tydeligvis som midler til på den mest effektive måde selektivt at forcere den halvlederteknologiformende proces i bestemte ønskede retninger. Det amerikanske militær rådede over økonomiske ressourcemængder, der var uovertrufne i en international sammenhæng. Hvilket skyldtes efterkrigssituationen og de særligt gunstige nationale supermagtsforudsætninger. Halvlederteknologien var i 50'ernes og 60'ernes tidlige udviklingsstadium karakteriseret ved

ekstremt høje enhedspriser for de første produktionsserier og frem for alt for prototyperne af en given halvlederkomponent. Dette forhold udelukkede effektivt andre førstehåndsftagere end de militære. Militæret var derved i den eksklusive position, at det kunne *vælge*, om det ville gå ind og bekoste udviklingen af prototyper og pilotprocesser gennem sin FoU-politik og masseproduktionsprocesser gennem sin produktionsudviklings- og indkøbspolitik. Masseproduktionsudviklingen var klart den mest ressourcekrævende og kritiske. Manglende militær støtte til et halvledertechnologisk påhit betød derfor i realiteten lammelse af innovationsprocessens videre forløb. Alle militære kontrakter havde karakter af *bestillingsarbejder med nøje specificerede krav* til hhv. prototyper/pilotproduktionsprocesser, masseproduktionsprocesser og produktionsserier. Herved sikredes det, at kun de komponent-ideer, der tilfredsstillede de krævende militære specifikationer, fik lov til at blive udviklet. Det amerikanske militær kunne herved *selektivt* dirigere den halvledertechnologiske innovationsproces i den *bestemte retning, som det ønskede*. Som det ses af tabellerne 4.1-3, benyttede militæret sin økonomiske styrkeposition til at tilføre særligt udvalgte innovationsprocesser *uhyre kapitalmængder*. Det militære økonomiske engagement i 50'ernes halvledertechnologiske udvikling lå nemlig på et niveau på 30-50% af de samlede ressourcer involveret. I begyndelsen af perioden måske endnu højere. Denne politik kombineret med den *selektive fordeling af støtte blandt de amerikanske halvledervirksomheder* betød derfor, at militæret på den *mest effektive måde* kunne *forcere hastigheden* af de halvledertechnologiske innovationsprocesser man valgte at igangsætte.

Den massive statslige økonomiske involvering tillod et omkostningsniveau hos halvlederproducenterne, der under "normale" omstændigheder ikke ville have været profitabelt. *Kriteriet om profitabilitet på det civile marked* blev derfor reelt sat ud af kraft som *mål og retning* for den halvledertechnolo-

giformende proces. Den normale kapitalistiske markedsökonomi var delvist sat ud af spillet og erstattet med *planlægning*.

Man kan derfor tale om, at 50'erne var karakteriseret af, at militæret på baggrund af våbenkapløbet tilstræbte en *planmæssig forcering* af halvlederteknologiens udvikling i den eller de *specifikke retninger*, man ønskede, og en *lokalisering* af denne udvikling i USA.

Den videnskabelige baggrund

I snæver forlængelse af den storstilede amerikanske krigstidsindsats, samlede efterkrigsårenes videnskabelige udforskning af halvledermaterialer sig som beskrevet om to grundstoffer, der i kraft af deres *relativt lave kompleksitet* var lettere tilgængelige for erkendelse. Nemlig *germanium* og *silicium*, som nu i stort omfang var blevet undersøgt på baggrund af *kvantefysikken*. Det var derfor *stadigvæk* i disse to simple halvledermaterialer, at muligheden var størst for at forstå halvlederfænomener. Mulighederne for at frembringe halvlederteknologiske opfindelser på baggrund af yderligere forskning var derfor også stadig størst på disse to felter.

Opfindelsen af transistoren på baggrund af videnskabelig udforskning af silicium og germanium stimulerede forskningsinteressen på feltet. Tydeligvis var den typiske videnskabelige holdning i 50'ernes begyndelse, at hvis udforskningen af disse to halvledermaterialer havde skabt så lovende anvendelsesmuligheder, så var det fristende at undersøge de grundlæggende egenskaber ved alle halvledere i det hele taget. Fra at have været et forholdsvis ubetydeligt forskningsfelt virkede emnet efterhånden så tiltrækkende, at der allerede i midten af 50'erne årligt blev publiceret ca. 1000 afhandlinger om egenskaberne hos forskellige halvledere, herunder

de komplekse halvlederlegeringer. Den grundvidenskabelige udforskning af halvledermaterialer var blevet et mål i sig selv snarere end et direkte middel til at opfinde halvlederteknologiske innovationer. (Braun, 1979, s. 76-77, 167).

Innovationsprocessens forløb

I 50'ernes første halvdel var halvlederteknologisk innovation en *højt videnskabeligt orienteret aktivitet*, samtidigt med at ekstreme erfaringsmæssige "trial and error" metoder ofte blev taget i anvendelse. De store firmaer investerede betydelige økonomiske ressourcer i deres forskningslaboratorier for at fremme den halvlederteknologiske innovationsproces i ønskelige retninger. (Braun, 1979, s. 92-96, 166).

Militære anvendelser krævede som nævnt ofte elektroniske komponenter, der kunne arbejde ved *høje temperaturer*. F.eks. oversteg den omgivende temperatur indenfor missiler og jetfly ofte 75 grader C, hvilket var den maksimale arbejdstemperatur for germaniumtransistorer. Militæret forventede, at *silicium*transistorer ville kunne fungere ved sådanne temperaturer. En sekundær årsag til militærets interesse i udvikling af siliciumkomponenter var deres modstandsdygtighed overfor *stråling*. (Misa, 1985, s. 280).

I 1952/53 igangsatte Luftvåbnet et større forsknings- og udviklingsprogram i silicium, rettet mod at udvikle en transistor, der var mere egnet til *anvendelser i lufrummet*. Dette program involverede kontrakter til en værdi af 5 mio. \$. (Golding, 1971, s. 327).

Som resultat af *metallurgisk forskning* lykkedes det G. Teal at dyrke enkrystaller af silicium før han forlod Bell. I 1952 rekrutterede virksomheden

Texas Instruments Teal for at etablere et faststoflaboratorium, mhp. at udvikle en produktion af transistorer, der egnede sig for militære formål. I 1954 var Texas Instruments klar med en produktion af dyrkede fladekontakt-transistorer af silicium, som i det store og hele blev afsat på det militære marked. Denne transistortype viste sig at kunne arbejde ved langt *højere temperaturer* end germaniumtransistorer. (Tilton, 1971, s.65-6) (Golding, 1971; s.73, 158-9).

Hvad militæret ønskede meget, var en transistor, der var i stand til at forstærke *højfrekvenssignaler*. Højfrekvensradioer, høj-hastigheds data-transmissionsudstyr og høj-hastighedscomputere krævede alle elektroniske komponenter, der kunne forstærke ved højere frekvenser. Anvendelsen af transistorer i stedet for elektronrør til højfrekvensformål ville muliggøre de påkrævede radikale reduktioner i størrelse, vægt og forbrug af elektrisk effekt. Da punktkontakt-transistorer og dyrkede fladekontakt-transistorer simpelthen ikke kunne opfylde dette behov, støttede den amerikanske hærs signalkorps stærkt udviklingen af nye komponenttyper. På denne måde fortalte Signalkorpsset, hvilken vej militæret ønskede, transistorudviklingen skulle gå, og hvor de fremtidige masseopkøb følgelig ville komme. Tilbage meldingen kom hurtigt. Det militært igangsatte Bell Symposie i 1952 drejede sig om krystaldyrkning og transistor konstruktion og stimulerede utvivlsomt den erhvervsmæssige interesse og aktivitet. (Misa, 1985, s. 281) (Braun, 1979, s. 80).

På baggrund af grundlæggende *metallurgisk forskning* udført hos Bell introducerede General Electric den *legerede fladekontakt-transistor* i 1952. Fremstillingsprocessen indebar legeringen af indiumpillen på de modstående sider af en tynd germaniumskive. Legerings-fladekontakt-transistoren var en hel del mere tilgængelig for *masseproduktion* end dyrknings-fladekontakttransistoren. Produktionsprocessen var dog stadigvæk individuel.

Højfrekvenssegenskaberne viste sig også at være *bedre*. (Golding, 1971, s. 72) (Braun, 1979, s. 80) (Rateksa, 1964, s. 110-11) (Shepherd, 1973, s. 14).

Militæret var klart interesseret i udviklingen af transistorer med bedre *højfrekvenssegenskaber* og bedre duelighed for *masseproduktion*. Det brugte da også sin første bevilling til produktionsudvikling for året 1952 på den videre rafinering af legerings-fladekontakt-transistorteknologien. (Asher, 197, s. 70).

En mulig løsning på højfrekvensproblemet blev fundet af Philco Co. i slutningen af 1953, som udviklede en elektrokemisk metode (ætsning med en stråle af elektrolytisk væske) til at opnå tynde basisregioner (transistorens midterste lag) og fladekontakter med lille areal. Denne fladekontakt-transistor type kaldtes *overfladebarriere-transistoren*. I midten af 50'erne kunne denne transistor klare de *højeste frekvenser* af de kommercielt tilgængelige og havde sin øvre frekvensgrænse ind i megahertz-området (mio. svingninger per sekund). Samtidigt kunne man med denne metode dog stadigvæk kun producere fladekontakt-transistorerne enkeltvis, hvilket *udelukkede virkelige masseproduktionsprocesser*. (Shepherd, 1973, s. 14) (Golding, 1971; s. 72-3, 167) (Braun, 1979, s. 80-81).

Forskning i diffusion af III-V grundstoffer (herunder bor og fosfor) ind i silicium og germanium af C.S. Fuller og H. Reis på Bell og af Dunlap på General Electric udgjorde grundlaget for en ny fladekontakt-transistor fremstillingsmetode, som udnyttede diffusion som et nøgleprocestrin. Den dertil kyttede proces for udmaskning med siliciumdioxid udvikledes af C.J. Frosch ved Bell og offentliggjordes i 1956. Han observerede i sin *forskning*, at termisk dyrket oxid på silicium hæmmede diffusionen af bestemte typer urenheder, herunder III-V grundstofferne bor og fosfor. Med fotografisk afmaskning, der skulle forhindre ætsning, bortætses (med våde kemikalier) udvalgte områder af det beskyttende overfladelag af siliciumdioxid. Her muliggjordes selektivt diffusion. Disse to nyopfundne produktionsprocesser

betegnedes tilsammen som *diffusions- og oxidafmaskningsprocesserne*. Denne teknologi viste sig at være den hidtil mest nøjagtige metode til at kontrollere strukturen af PN-overgange. Ved kombineret avanceret fotografisk teknik blev man således i stand til at lægge fine maske-mønstre af siliciumdioxid på halvlederne. Hvorved diffusionen netop skete på de områder, man ønskede. Almindelige urenheder diffunderer meget langsomt i halvledere med hastigheder, som kan varieres ved at justere på temperaturen. Ved at regulere på tid og temperatur kunne man dermed opnå nøjagtig kontrol og reproducerbarhed af fordelingen af urenheder i halvledermaterialet. Derved opnåede man kontrol over de resulterende komponenters elektriske egenskaber. Evnen til at kontrollere basislagets tykkelse—den kritiske faktor for komponentens frekvensfølsomhed, sådan at den kun blev en brøkdel af en my (1/1000 mm), hvilket var mere end ti gange så nøjagtigt som ved de tidligere processer—betød, at man nu kunne fremstille VHF (very high frequency) transistorer. Det vil sige komponenter, der var i stand til at arbejde ved *meget høje frekvenser* (VHF-området: 30-300 mio. svingninger per sekund), der *oversteg* det hidtil teknisk mulige. Da diffusions- og oxidafmaskningsprocesserne var en batch (portionsvis fremstilling) og ikke en individuel fremstillingsproces, blev *virkelig masseproduktion* nu endelig muliggjort. Ligesom at *pålideligheden forbedredes med en størrelsesorden*. (Dummer, 1978; s. 135, 138) (Braun, 1979, s. 81, 104) (Tilton, 1971, s. 75) (Shepherd, 1973, s. 14) (Golding, 1971, s. 74).

Med udviklingen af diffusionsprocessen blev *militæret* overbevist om, at transistorer nu kunne finde bred anvendelse indenfor fremtidigt militært udstyr. I slutningen af 1955, da Bell Labs stillede diffusionsprocessen til rådighed for eventuelle licenstagere, var Signalkorpset klar med en ekstraordinær *stærk* dosis af finansielle midler til produktionsudvikling af transistorer. Forcingen af diffusionstransistorudviklingen var ekstraordinært voldsom—størstedelen af halvlederindustrien i USA deltog. Den

forventede anvendelse af transistorer i stor målestok i militært udstyr fandt sted efter 1958. Baggrunden var her Luftvåbnets iværksættelse af udviklingen af forskellige typer af interkontinentale ballistiske missiler (ICBM). Indtil da var det kun lykkedes for transistorerne at gennemtrænge bestemte afgrænsede områder, navnlig såkaldt taktisk kommunikationsudstyr. (Misa, 1985, s. 281-82) (Asher, 1977, s.70) (Freeman, 1982, s. 100) (Golding, 1985, s. 330-31).

Den amerikanske virksomhed Motorola modtog den største enkelte indkøbskontrakt på 1,7 mio. \$ for *germanium-diffusionstransistorer*. Den dengang nystartede amerikanske virksomhed Fairchild Semiconductor modtog en anden stor kontrakt på 1,5 mio. \$ for levering af *silicium-diffusionstransistorer*. Det blev Fairchild, som først fik succes med at udvikle en profitabel produktionsproces. Denne komponent forenede siliciumtransistorens arbejdssevne ved *højere temperaturer* med diffusionstransistorens *ægte masseproduktionsevne, gode højfrekvenssegenskaber og pålidelighed*. (Golding, 1971; s. 161,258) (Tilton, 1971, s. 66-67).

Sammenfatning

1) Hvilke faktorer bestemte så halvlederteknikkens udvikling i perioden 1950-58?

For det første var det *videnskabelige grundlag* afgørende. *Halvlederforskningens* *iboende kompleksitet* betingede *stadigvæk*, at opfindelsesprocessen samlede sig om de to relativt *simple* grundstof-halvledere: *germanium* og *silicium*. Halvlederområdet vanskelige tilgængelighed udgjorde således stadigvæk en *art randbetingelse* for teknologisk innovation. *Personlige faktorer*

som individuelle ekspertbeslutninger var derimod svundet ind i betydning sammenlignet med tidligere.

For det *andet* var den *nye drivkraft* bag den halvledertekniske udvikling afgørende. Hvilken var denne, og hvad var dens *styrke* og *retning*?

Efterkrigsårenes dominerende halvlederteknologiformende kraft havde som nævnt været *Bell Labs' stræben efter at opnå teknologisk betingede ekstraprofitter i samspillet med de potentielle civile og militære markeder*. Efter at det amerikanske militærs interesse for alvor blev vakt i 1951, blev Bell's kontrol over transistor-teknologiens videre udviklingsproces sat ud af spillet gennem en meget *stærkere* krafts indgriben. Bell Labs blev nu på trods af sin enestående organisatoriske og kvalifikationsmæssige styrkeposition gjort til en brik i en endnu mere mægtig krafts spil. Den nye *drivkraft* bag den halvledertekniske udvikling var nu *våbenkapløbet* mellem de to *supermagter*. Repræsenteret ved det amerikanske militær og dets planmæssige forcering af den nationale elektro-industrielle forsknings- og udviklingsindsats.

Våbenkapløbet i 50'erne havde en *formidabel styrke* som *drivkraft* bag den halvlederteknologiske udvikling. I USA blev denne styrke repræsenteret af det *amerikanske militær*. Denne magtfulde teknologipolitiske styrkeposition, som langt overgik Bell's, bestod i flere faktorer:

- evnen til ved statslig indgriben at sætte den sædvanlige kapitalistiske opsplitning af den nationale teknologiske innovationsproces ud af kraft og indordne denne under en overordnet fælles målsætning, under henvisning til en ydre modstander.
- evnen til at tilføre særligt udvalgte innovationsprocesser uhyre kapitalmængder uden at være bundet af kapitalakkumulationens krav.
- de særligt gunstige nationale industrielle kvalifikations og ressourcemæssige (supermagts)forudsætninger.

I det væsentlige havde denne drivkraft en *retning* givet ved militærets ønsker om:

- højere pålidelighed end elektronrør
- højere arbejdsfrekvenser
- højere arbejdstemperaturer
- masseproduktionsevne

2) Hvad var virkningen af dette nye sæt af bestemmende faktorer?

Følgen af denne nye *meget stærkere, formidable teknologiformende krafts* aktivitet blev en ny ændring af innovationsprocessens *forløb*. Dens *hastighed accelereredes yderligere*, og dens *retning skiftede*. Begge dele i overensstemmelse med den teknologiformende kraft: grundlæggende opfindelser af militær interesse fulgte efter hinanden i *hastig takt* i løbet af 50'erne. 50'ernes transistor teknologiske udvikling indebar, at transistorernes *pålidelighed, arbejdsfrekvenser, arbejdstemperaturer* og *masseproduktionsevne* øgedes betragteligt. Midlet var udviklingen af *diffusions- og oxidafmaskningsprocessen* i forbindelse med *silicium* som den endelige procesteknologiske løsning på 50'ernes militære kommunikations- og missil teknologiske problematikker. (NB!: I det følgende betegnes det *integrerede kredsløb* ofte som "IC", der kommer af "integrated circuit".)

5. Den bipolære IC-teknologi 1958-65

Interesser afledt af langdistanceraketkapløbet

Luftvåbnets stærke etablerede interesse i at opretholde en flåde af pilotstyrede fly hæmmede amerikanske teknologiske fornyelser af *langdistanceraketter* i det første årti efter II verdenskrig, hvorfor de amerikanske raketter var bagud i størrelse og kraft indtil så sent som i 1965. Sovjet havde imidlertid ikke disse hæmninger og startede raketudviklingen på et tidligere tidspunkt, hvor de tunge A-bombeladninger krævede større og mere kraftfulde raketter til at bære dem. Desuden havde USA allierede indenfor kortdistance missil- og bomberafstand til sin modstander, hvad Sovjetunionen ikke havde. Langtrækkende interkontinentale missiler med stor løfteevne var derfor mere afgørende for Sovjet end USA. På baggrund af dette forspring opsendte Sovjet i oktober 1957 en raket, der var kraftfuld nok til at sætte en lille satellit "Sputnik" i bane om jorden. I de følgende måneder sendtes større og større nyttelaster op i rummet. Denne begivenhed resulterede i det såkaldte Sputnikchok, som ikke efterlod nogen tvivl om den sovjetiske teknologiske færdighed i at nedsende kernevåbensprænghoveder hvorsomhelst på jordens overflade. Sputnikchokket havde vist, at USA nu var ligeså sårbart som Sovjet. I tiden før Sputnik havde USA været immun overfor enhver reel fare for angreb udefra. Desuden oplevedes Sputnik som et prestigemæssigt nederlag for det amerikanske systems teknologiske overlegenhed. Sputnikchokket blev derfor særligt intenst og førte til alvorlig bekymring i USA's militære værnsgrene. Frem

for alt opstod der forestillingen om en missilkløft. (McNeill, 1983, s. 367-68) (Smith, 1983, s. 191) (Gatland, 1973, s. 94) (Braun, 1979, s. 133) (Agrell, 1981, s. 37).

Det af militæret oplevede presserende *raketteknologiske problem* havde andre væsentlige aspekter end den teknologiske kapabilitet til at fremstille løfteraketter med tilstrækkeligt stor bæreevne. Opsendelsen af en lang-distanceraket, som den der bragte Sputnik i bane om jorden og senere sendte den første vellykkede sonde til månen, krævede en særlig *nøjagtig og kompleks* styringsautomatik. Tidligere blev amerikanske interkontinentale missiler fjernstyret af et automatisk databehandlingssystem nede på jorden. Det amerikanske militær frygtede imidlertid, at jordstationen ville blive ødelagt i krigstilfælde, og at fjenden ville kunne overtage fjernstyringen af missilet. De interkontinentale missiler skulle derfor gøres fuldstændigt selvstyrende ved at anbringe jordstationen som en del af missilets nyttelast. Styringsautomatikken måtte dermed være særligt *kompakt*. Ligesom at kompakt måleudstyr var essentielt for konstruktionen af satelliter og sonder. Satellitter kunne jo også anvendes til militære formål som spionage og overvågning af fjendens rustningsaktiviteter. Begge dele krævede en *miniaturisering* af relativt kraftfulde automatiske databehandlingssystemer, der tilsyneladende oversteg den hidtil kendte miniaturiseringsgrad. Dette betød, at den amerikanske militære interesse i udviklingen af egentlig *mikroelektronisk teknologi*, som muliggjorde realiseringen af *små automatiske databehandlingssystemer*, nu blev overordenligt stærk. Da det stadigvæk var det magtfulde Luftvåben, som dominerede den amerikanske raket-våbenudvikling, blev interessen i at overgå de formodede sovjetiske færdigheder særlig stærk hos denne instans. (Lindner, 1986, s. 141-2).

Det var derfor intet tilfælde, at den stærke militære finansiering af FoU-programmer, der havde frembringelsen af en *miniaturiseret elektronik* som central målsætning, begyndte umiddelbart efter opsendelsen af Sputnik

i 1957. Militæret var ikke kun stærkt interesseret i en mikroelektronisk teknologis umiddelbart indlysende fordele, nemlig (I) *reduktion af de automatiske databehandlings-systemers størrelse og vægt* og helst også (II) *masseproduktionsevne*, men også i andre forventede fordele som (III) *reduceret effektforbrug*. Dette indebar nemlig mere beskedne krav til strømforsyning, hvilket bl.a. betød muligheden af at etablere mere kompleks styringselektronik i raketter med de eksisterende strømkilder. Men også (IV) *øget pålidelighed* spillede en meget væsentlig rolle. Dette krav udsprang af det såkaldte *taltyranni-problem*. Dette havde raketvåbenkapløbet til fælles med bombeflyvemaskine-kapløbet. Det amerikanske Luftvåben stod derfor i særlig høj grad overfor et akut taltyranni-problem. Ligegyldigt hvor pålidelige de enkelte diskrete komponenter var, så var de i sidste instans ikke mere pålidelige end de ledninger, der forbandt dem, og de almindeligvis manuelle metoder, der blev brugt til at trække forbindelserne. Jo mere komplekst systemet var, desto flere forbindelser var der brug for, og desto større blev risikoen for fejl. Systempålideligheden vedblev med at udvise en betydelig aftagen i takt med at kompleksiteten af luftbårent udstyr voksede med eksponentiel hastighed. Dette var især alvorligt, hvad angik kernevåbenbærende missiler og fly, hvor ubetydelige elektroniske fejl kunne være uudsigeligt kastratofale eller forhindre start og affyring. Samtidigt ville forøget pålidelighed også skabe besparelser i vedligeholdelsesomkostninger. (Golding, 1979, s. 332) (Braun, 1979, s. 127, 133, 138).

Sputnikchokket og de efterfølgende sovjetiske rumfartsbedrifter fremprovokerede opkomsten af nye forestillinger i USA's politiske elite. Man mente, at den endelige test af det amerikanske samfundssystem i konkurrencen med det sovjetiske kunne koges ned til at finde ud af hvem af de konkurrerende parter, der kunne udvikle de bedste videnskabelige og teknologiske færdigheder. Her kom et *rumkapløb* på tale som særligt

velegnet. I 1958 oprettede den amerikanske statsmagt NASA (National Aeronautics and Space Administration) som en formelt civil instans, der fik til opgave at omsætte den nationale rumpolitik i praksis. Den i 1961 nyindsatte demokratiske administration (Kennedy-administrationen) forpligtede sig til at overgå Sovjet i raket teknologi, hvad enten det var på jorden eller på månen. Samme år bekendtgjorde præsident Kennedy, at USA ville sende en mand til månen inden for dette tiår. Denne opgave skulle NASA realisere via Apollo-programmet. Da langdistanceraketter dominerede både Luftvåbnets og NASA's aktiviteter, oplevede disse instanser næsten identiske teknologiske problemer indenfor deres respektive kapløb. Den eneste åbenbare forskel var rumfartens særligt krævende karakter, som i flere henseender indebar en forstærkning af Luftvåbnets krav. NASA's og Luftvåbnets teknologipolitiske interesser lå derfor reelt i forlængelse af hinanden. I 1962 vurderede NASA's chef, at halvdelen af udgifterne til rumfartssystemer gik til elektronik (Electronics 5-1-62, s. 56). OECD anførte i 1968, at 42% af prisen for et missil udgøres af elektroniken, hvorimod M. Kaldor i 1982 anslog 2/3 af prisen. (OECD, 1968, s. 57) (Kaldor, 1982, s. 72). Rumfarten adskilte sig dermed heller ikke meget fra de militære missiler i elektronik-intensitet. Missil- og rumkapløbene skabte derfor tilsammen et kraftigt pres for en *forcering* af halvlederteknologiens udvikling i de nævnte fire basale *retninger*. Derfor søgte frem for alt Luftvåbnet og NASA at gennemtvinge en planmæssig forcering via deres respektive teknologipolitiske magtmidler. Militæret og NASA iværksatte deres respektive teknologipolitiske programmer, fra 50'ernes slutning.

Den statslig-militære teknologipolitik

For at fremme disse teknologipolitiske mål iværksatte militæret og NASA deres respektive teknologipolitiske programmer overfor den IC-teknologiske udvikling fra 1959 og i løbet af 60'erne. Disse statslige programmer var tilsammen næsten ligeså store, som de militæret havde iværksat overfor transistorudviklingen i 50'erne, og stadigvæk domineret af Luftvåbnet. Disse programmer benyttede sig i det store og hele af to teknologipolitiske virkemidler:

1) *Udstedelse af kontrakter til finansiering af FoU og produktionsudvikling indenfor halvlederindustrien i USA* med det formål at frembringe prototyper og pilotproduktionsprocesser, samt foretage udvikling og opbygning af egentlige masseproduktionsprocesser. Alt skulle tilfredsstille særligt krævende militære specifikationer. De statslig-militære instansers samlede udgifter til IC-FoU gennem perioden 1959-64 (begge år inklusive) er blevet anslået til 32 mio. \$, hvor Luftvåbnet stod for omkring 70% af det samlede beløb. De resterende 30% tildeltes stort set af de øvrige værnsgrene og NASA. Sidstnævnte havde formentlig en større rolle i 1965-66, hvor det formentlig var på niveau med Luftvåbnet i betydning, for så derefter gradvist at aftage i andel fremover. (Asher, 1977, s. 76-78). I perioden 1958-74 var det samlede statslige bidrag til FoU på 930 mio. \$, hvilket sammenlignet med de samlede private udgifter til FoU på 1200 mio. \$ giver et gennemsnitligt statsligt bidrag på 44% årligt. Det anslås, at den statslige andel lå på ca. 60% i midten af 60'erne, da den var på sit højeste. Eller måske helt op til 75%, hvis man regner produktionsudviklingsstøtten med. (Dosi, 1984, s. 43).

2) *Udstedelse af militære indkøbskontrakter til den amerikanske halvlederindustri* med det formål at masseopkøbe komponenter, der tilfredsstillede de krævende militære specifikationer. Det drejede sig stadigvæk om de nyeste, mest avancerede (ifht. militærets og NASA's behov) og dyreste produktionsserier, hvor statslig-militære behov reelt var eneftagere. Omfanget af den statslige indkøbspolitik kan aflæses af tabel 5.1, som blandt andet viser betydningen af det statslige marked fra 1962 til 68. I denne periode faldt den statslige andel af efterspørgselen fra 100% af IC-produktionen til 37%. Samtidigt med at den samlede produktionsværdi steg fra 4 mio. \$ til 312 mio. \$. Det statslige marked steg derfor kraftigt i absolutte tal. 60'ernes statslige indkøbspolitik på IC-området var præget af Apollo- og Minuteman II programmerne. Selvom NASA's og Luftvåbnets indkøb af integrerede kredse var nogenlunde lige store i 1963-64, så brugte militæret flere IC'er i andre indkøbsprogrammer end NASA. Da NASA's IC-indkøb i midten af 60'erne var af størst relativ betydning, udgjorde de så meget som 20-40% af militærets samlede indkøb (Asher, 1977, s. 83).

Tabel 5.1: Værdien af IC-produktionen i USA, gennemsnitsprisen for IC'er og betydningen af det statslige marked i årene 1962-68. (Tilton, 1971, s. 91).

	samlet produktions- værdi (mio.\$)	gennemsnits- pris per IC (\$)	militærets %-andel af den samlede produktion
1962	4	50,00	100
1963	16	31,60	94
1964	41	18,50	85
1965	79	8,33	72
1966	148	5,05	53
1967	228	3,32	43
1968	312	2,33	37

Ligesom i 50'erne repræsenterede disse teknologipolitiske virkemidler en fungerende *helhed* og må bedømmes som sådan. Det galdt stadigvæk, at disse virkemidler skulle indvirke på både *retningen* og *hastigheden* af den videre halvlederteknologiske udvikling.

FoU-, produktionsudviklings- og indkøbspolitikeerne benyttedes på stort set tilsvarende måde som 50'ernes transistor-teknologiske udvikling til planmæssigt at forcere udviklingen af IC-teknologien i bestemte retninger (se også afsnit 4 "Den militære teknologipolitik"). Som det ses af tabel 5.1 og de øvrige data, benyttede de statslig-militære instanser i allerhøjeste grad deres styrkeposition. Den statslig-militære økonomiske involvering udgjorde en meget stor del af de kapitalressourcer, der anvendtes i IC-udviklingen i 60'erne i begyndelsen af denne periode 50-100% af de samlede midler, for så at aftage i relative tal op gennem 60'erne. Forskellen fra 50'ernes politik var, at 60'ernes teknologipolitiske instrumen-

ter formentlig ikke i samme grad var indrettet på at etablere en effektiv arbejdsdeling mellem virksomheder, der lavede grundlæggende FoU og ingeniørmæssig udvikling. Idet der genrelt skete en tilpasning til den statslige teknologipolitiske aktivitet. (Golding, 1971, s. 336).

Selv om den statslig-militære involvering i slutningen af 60'erne i relative tal var vigende, så svarede dette årtis teknologipolitiske bestræbelser til 50'ernes, selv om våbenkapløbet var suppleret med et rumkapløb. Amerikanske statslig-militære instanser tilstræbte på baggrund af en supermagtskonkurrence *planmæssigt at forcere* halvlederteknologiens udvikling i *selektivt specificerede retninger* og at *lokalisere* denne udvikling i USA.

Den videnskabelige baggrund

50'erne var som tidligere nævnt præget af en stor halvlederforskningsaktivitet. Ikke mindst grundforskning, der i stort omfang blev drevet som et mål i sig selv. Uden tanke på anvendelse. Så i slutningen af 50'erne forelå der formentlig en stor mængde uudnyttet videnskabelig-teknologisk viden, der eventuelt kunne danne basis for yderligere halvlederteknologisk innovation.

Innovationsprocessens forløb

Luftvåbnets særligt presserende behov for en radikal forbedring i pålideligheden af de elektroniske systemer udmøntede sig i udarbejdelsen af det *molekylære elektronik-koncept*. Ideen i den molekylære elektronik var radikalt anderledes end andre miniaturiseringsforsøg. Den gik ud på at bygge et kredsløb i det faste stof uden at reproducere de individuelle komponentfunktioner. Molekylær elektronik var noget indtil dato knapt nok gennemførligt—et spring ud ud i det teknologiske mørke. I 1959 gav Luftvåbnet 2 mio. \$ i kontrakter til det etablerede elektrofirma Westinghouse Electric for at undersøge gennemførligheden af molekylær elektronik. I årene derefter fulgte der yderligere kontrakter. I 1962 viste det sig imidlertid, at Fairchild's planarproces kombineret med Kilby's teknik i langt højere grad end Westinghouse's tilgang tilfredsstillede *Luftvåbnets* behov. Molekylærelektronik-processerne var ekstremt komplekse og vanskelige at reproducere, hvorfor *masseproduktion* var udelukket. (Braun, 1979, s. 133-34) (Golding, 1971, s. 332) (OECD, 1968, s. 61).

De to andre militære værn fortsatte imens med at følge uafhængige veje mod det vanskeligt opnåelige mikroelektronik-mål. Interessen som militæret udviste i mikroelektroniske teknikker meddeltes snart til elektronikindustrien i dens helhed og resulterede i udbredt aktivitet. Alle virksomheder indså mulighederne for profitable forretninger med de statslige kunder. Søgeprocessen blev bredt fordelt udover elektronikindustrien og ikke begrænset til halvledervirksomheder. Meget af denne bestræbelse hvilede imidlertid på udbygningen af velkendt eksisterende teknologi, i form af *paknings-systemer for diskrete komponenter*, og var ikke orienteret mod søgningen efter et nyt teknologisk gennembrud. (Golding, 1979, s. 232-33).

De voldsomme udgifter til forskning, udvikling og militære indkøb med henblik på frembringelse af en for militæret egnet mikroelektronisk teknologi førte ikke til de succesrige gennembrud, man havde forestillet sig. I stedet blev den *bipolære integrerede kreds*, der udgjorde den succesrige teknologi på længere sigt, opfundet *uden for* de beskrevne massive militæreyprogrammer, nemlig hos *Texas Instruments* og *Fairchild*. Alligevel fik disse programmer stor indflydelse på halvlederteknologiens udvikling. De *signalerede* den militære kundes interesse i storstilet anvendelse af særlige mikroelektroniske komponenter.

I 1958 blev J.S. Kilby, der var ekspert i miniaturopakningsteknikker, ansat hos *Texas Instruments* for at undersøge metoder til at producere billigere elektroniske kredsløb. Da han indså, at en eneste halvlederkrystal udviste alle de elektriske egenskaber, som var nødvendige for et kredsløb, konstruerede Kilby to kredsløbsfunktioner i germanium vha. oxidafmasknings- og diffusionsmetoder. De separate transistorer, dioder og modstande i disse to integrerede kredse fra oktober 1958 krævede sarte ledningsforbindelser, der møjsommeligt og præcist måtte forbindes med hånden. Hver enkelt individuel komponentfunktion i disse kredsløb krævede at være elektrisk isoleret fra de andre. Dette blev opnået ved at ætse passende dele væk. Dette var den første *bipolære integrerede kreds*. Denne besværlige manuelle produktionsmetode for de elektriske forbindelser *forhindrede* en egentlig *masseproduktion* af det integrerede kredsløb. Hvad Kilby ikke vidste var, at denne forhindring allerede var overvundet hos *Fairchild*. (Braun, 1979, s. 125) (Dummer, 1978, s. 143) (Golding, 1971, s. 78).

Et team ledet af dr. J. Hoerni opfandt *planarprocessen* i 1958-59, under forskning i forbedrede former af siliciumdiffusions-transistoren i det nyligt dannede *Fairchild Semiconductor*. Planarprocessen var i det væsentlige en udbygning af *diffusions-* og *oxidafmaskningsprocesserne*, der tilsammen udgjorde en virkelig masseproduktionsproces. I planarprocessen bibe-

holdtes oxiden imidlertid som et beskyttende lag på halvlederoverfladen. Den endelige overflade var i det væsentlige flad (planar). Forbindelsesledningerne kunne dermed opnås ret enkelt ved pådampning af et metal-mønster. Planarprocessen kombineret med Kilby's ide udgjorde det første virkelige mikroelektroniske gennembrud—den *planarprocesbaserede fremstillingsproces* for den *bipolære integrerede kreds*. Alt i alt muliggjorde planarproces-IC-tilgangen radikale forbedringer i de retninger som ønskedes af militæret og frem for alt *Luftvåbnet*. Det drejede sig om dimensioner som *øget pålidelighed, mindre størrelse, mindre vægt, øget masseproduktionskapacitet, og mindsket effektforbrug*. (Braun, 1979; s. 106, 125) (Dummer, 1978, s. 143) (Golding, 1971, s. 78-9).

Texas Instruments modtog en udviklingskontrakt fra Luftvåbnet så snart som juni 1959. Denne efterfulgtes snart af en anden kontrakt på omkring 2,8 mio. \$. Den succesfulde fuldførelse af projektet overbeviste Luftvåbnet om de fordele, der kunne opnås med IC-fremgangsmåden. I begyndelsen af 1961, havde Texas Instruments anerkendt betydningen af planarproces-innovationen og igangsatte straks et 6-måneders forceret FoU-program støttet af NASA. Dette resulterede i den markeds-mæssige introduktion af TI's første kommercielle "familie" af bipolære IC'er, "*series 51*" august dette år. Allerede i marts dette år havde Fairchild bekendtgjort, at den første familie "*Micrologic*" af bipolære planar-IC'er var til rådighed. IC'erne havde nu opnået de samme *frekvens- og hastighedskapabiliteter* som diskrete transistor kredsløb. (Golding, 1971, s. 78-79).

Disse "familier" var byggesæt af elektrisk kompatible IC-kredse. De statsligt-militære behov var tydeligvis rettet mod udviklingen af automatiske databehandlingsfunktioner fortrinsvis til raketsystemer. Derfor spillede det en væsentlig rolle, at de logiske elementer indenfor en given IC-familie kunne forbindes til en komplet *digital computer-konfiguration*. Fairchilds første IC-familie fra 1961 var karakteriseret ved et IC-design

kaldet *RCTL* (Resistor-Capacitor-Transistor Logic), og Texas Instruments leverede en IC-familie karakteriseret ved et designet *DCTL* (Direct Coupled Transistor Logic). Disse produktfamilier havde imidlertid svagheder ved deres design, hvorfor Fairchild og TI hurtigt erstattede dem med *RTL* (Resistor-Transistor Logic), der var en innovation i IC-design. *RTL* blev imidlertid hurtigt afløst på markedet af *DTL* (Diode-Transistor Logic), som var en innovation i IC-design, der havde langt større modstandsdygtighed over for elektrisk støj end *RTL*. I 1962 fremkom den nydannede virksomhed Signetics med *DTL*. (Wilson, 1980, s. 84) (Torrero, 1972, s. 76) (Borrus, 1982, s. 20-21).

Karakteristisk for disse generationer af bipolære IC-familier var, at de enkelte IC'ers kredsløbskompleksitet var 1-100 komponenter per chip. Denne kompleksitet kan betegnes *SSI*, som står for "small scale integration". Med denne integrationsgrad realiserede de enkelte IC'er den digitale computers allermest simple grundelementer—de såkaldte *logiske porte*. Disse kunne udføre de grundlæggende logiske funktioner ("og", "eller", "negation" osv.) på binært repræsenteret information.

På trods af Luftvåbnets bestræbelser på at fremskynde halvlederfremgangsmåden til mikroelektronik eksisterede der i så sent som i 1962 ikke nogen enighed, hverken i militære eller elektroniskindustrielle kredse, hvad angik den mest passende teknologiske kurs at følge. To beslutninger stod i løbet af 1962 som ansvarlige for det fornødne gennembrud, der førte til anerkendelsen af IC'erne over en bred front. NASA bekendtgjorde sin hensigt om at udnytte IC'er til prototypen af den *digitale styringscomputer i Apollo-rumfartøjet*. Derefter tilkendegav Luftvåbnet i slutningen af 1962, at *Minuteman II*, som var en forbedret version af *Minuteman I* ICBM, ville gøre maksimal praktisk anvendelse af IC'er i dens *digitale styringscomputer*. *Minuteman II* indkøbsprogrammet havde mange ligheder med den tidligere *Minuteman I* program. Igen var vægten lagt fast på opnåelsen af stærkt

forøget pålidelighed af komponenterne indefor et kort samlet tidsrum. *Texas Instruments* blev (med Westinghouse i en underordnet rolle) tilstået den oprindelige Minuteman II udviklings- og for-produktionskontrakt i slutningen af 1962. Der blev tilstået yderligere kontrakter i løbet af 1963 til Texas Instruments, fulgt af Westinghouse og RCA. I oktober 1963 blev det anslået at kravene fra Minuteman II projektet stod for omkring 60 % af værdien af alle IC-orde indtil dato. På det samme tidspunkt begyndte NASA's Apollo-orde på en samlet mængde af 200.000 IC'er at få fremdrift. De fleste af Apollo-IC'erne blev produceret af *Fairchild*. (Golding, 1971, s. 336). Effektive *masseproduktionsmetoder* var nu etableret, og den planarprocesbaserede IC-fremstillingsmetode var nu blevet udvalgt som den egnede mikroelektroniske teknologi. (Golding, 1971, s. 335-36) (Teal, 1976, s. 653).

Planarprocessen var meget mere kompleks og kapitalintensiv end sine forgængere. Fremstillingen af IC'er bestod grundlæggende af fem forskellige trin, hvor planarprocessen (4) var hjertet i fabrikationsprocessen:

- 1) *Design af kredsløbssystem*
- 2) *Fremstilling af fotografiske masker*
- 3) *Fremstilling af wafers*
- 4) *Fremstilling af chips (planarprocessen)*
- 5) *Samling og afprøvning af IC'erne*

Alle senere *innovationer* i IC-teknologien kan rubriceres indenfor et eller flere af de ovennævnte procestrin. Processen er i det væsentlige opretholdt uforandret frem til i dag. (Braun, 1979, s. 106) (Hansen, 1981, s. 74-77).

De to store statslige indkøbsprogrammer blåstemplede IC-teknologien og åbnede op for markedets ekspansion. Disse to programmer dominerede den fremvoksende IC-industri gennem 1963 og begyndelsen af 1964, og tilsammen udgjorde de den statslige efterspørgsels overvældende tyngde. Opmuntret af programmernes succes begyndte våbensystem-kontraktindehaverne at designe udstyr, som indkorporerede IC'er, og adskillige flere

indkøbsprojekter blev sat i værk 1964. (Golding, 1971, s. 336) Ud over indkøbskontrakterne til styringscomputerne i Minuteman II og Apollo blev halvlederkomponentindustrien tilstået *mindst 12 andre indkøbskontrakter* mellem 1963 og 65, der lød på levering af *bipolære integrerede kredse til militær og rumfart* (Borrus, 1982, s. 16). De oprindelige deltagere Texas Instruments, Fairchild og Westinghouse opnåede yderligere militær/rumfarts-kontrakter, mens den store bølge fremad i statslige indkøb også satte fremdukkende konkurrenter som Motorola og Signetics i stand til at hæve deres produktionsvoluminer. (Golding, 1971, s. 336).

I midten af 60'erne havde halvlederindustrien oparbejdet teknologiske kapabiliteter til at fremstille MSI-kredse (Medium scale integration). Betegnelsen understreger den højere kompleksitetsgrad på 100-1000 komponenter per chip. (Borrus, 1982, 22).

Hvor transistoren var opfundet og udviklet i *tæt forbindelse med den videnskabelige forskning*, så var den bipolære integrerede kreds et resultat af teknologiske forskeres udnyttelse af *eksisterende videnskabelig viden*. (Braun, 1979; s. 124, 166-68).

Sammenfatning

1) Hvilke faktorer bestemte så halvlederteknologiens udvikling i perioden fra 1958-65?

For det *første* var det *videnskabelige grundlag* afgørende. Fra 60'ernes begyndelse mistede den halvlederteknologiske innovationsproces sit indhold af grundvidenskabelig forskning og kontakt til universitetsforskningen. Den statslig-militært forcerede vidensopbygning havde frem til ca. 60 fokuseret på de to relativt simple grundstof-halvledere *germanium* og

silicium, som der nu eksisterede en vældig fond af videnskabelig viden om. Udnyttelsen af denne mængde af eksisterende viden udgjorde en *randbetingelse* for 60'ernes halvlederteknologiske innovationsproces.

For det *andet* var den *nye drivkraft* bag den halvlederteknologiske udvikling afgørende. Hvilken var denne, og hvad var dens *styrke* og *retning*?

Den dominerende halvlederteknologiformende kraft i 50'erne havde som nævnt været et *kommunikations- og missilteknologisk kapløb mellem de to supermagter*. Denne kraft blev siden slutningen af 50'erne og frem til slutningen af 60'erne afløst af det *raketeknologiske kapløb mellem de to supermagter*. Repræsenteret ved det amerikanske militær og NASA og deres planmæssige forcering af den nationale elektro-industrielle innovationsindsats. Dette kapløb udgjorde på en og samme tid både en kontinuert forlængelse og en kvalitativ forandring af den hidtil dominerende kraft.

Programmerne var tilsammen næsten ligeså store, som de militæret havde iværksat overfor transistorudviklingen i 50'erne, og stadigvæk domineret af Luftvåbnet. *Styrken* af den teknologiformende kraft var derfor uforandret *formidabel stor*.

I det *væsentlige* havde denne nye drivkraft en *retning* givet ved de statslig-militære instansers ønsker om:

- reduktion af automatiske databehandlingssystemers størrelse og vægt
- masseproduktionsevne
- reduceret effektforbrug
- øget pålidelighed

2) Hvad var virkningen af dette nye sæt af bestemmende faktorer?

Følgen af denne modificering af den *stadigt meget stærke, formidable statslig-militære teknologiformende krafts* aktivitet blev en ny ændring af innovationsprocessens forløb. Dens *overgennemsnitlige hastighed* blev op-

retholdt, hvorimod dens retning skiftede. Begge dele i overensstemmelse med den herskende teknologiformende kraft: Statsligt-militært interessante halvlederteknologiske innovationer fulgte efter hinanden i hastig takt fra Sputnikchokket og frem til midten af 60'erne. Den bipolar IC-teknologiske udvikling frem til 60'ernes midte indebar, at effektforbruget var mindsket yderligere, og pålidelighed og masseproduktionsevne var forøget betydeligt. Midlerne var en konsolidering af planarproces-teknologien og en forløbende miniaturiseringsproces, der skred frem fra SSI til MSI. Denne mikroelektroniske teknologi udgjorde en løsning på den daværende raketteknologiske problematik.

6. Den unipolære IC-teknologi 1965-80

Interesser afledt af ekstraprofitkapløbet på det civile marked

Første halvdel af 60'erne havde ligesom 50'erne været karakteriseret af, at statsligt-militære teknologipolitiske interesser havde foretaget en planmæssig styring af udviklingen af halvlederteknologien ud fra en styrkeposition. IC-produktionernes akkumulationsdygtighed var betinget af tilfredsstillelsen af de militære specifikationer og krav, og akkumulationsstrategien var indrettet derefter. Halvlederteknologiens udvikling var derfor reelt et statsligt-militært projekt, der var lagt ud til producenter i privatkapitalistisk regi. Den statsligt-militære teknologiske planlægning udspillede sig i forhold til et supermagtkapløb, hvor man på baggrund af

egne interesser og forestillinger om, hvordan den sovjetiske modpart agerede, opstillede teknologipolitiske mål og midler for at komme ham i forkøbet. De statslige instanser var således karakteriseret ved en relativt høj grad af innovationsdefinerede aktivitet.

Halvlederkapitalens iboende drift var imidlertid *ekspansion*. Der eksisterede derfor en konkurrencemæssig drift hos halvlederproducenterne mod stadig udvidelse af det markedsmæssige grundlag for kapitalakkumulationen. Sammenlignet med det reelt *begrænsede* statslig-militære marked virkede det i princippet udtømmelige *civile marked* særligt tiltrækkende. Ved gennemtrængning af stadigt nye civile markedsafsnit kunne der tjenes store teknologiske ekstraprofitter for de først ankommende virksomheder. Ekstraprofitmotivet eksisterede derfor som potentiel *drivkraft* bag frembringelsen af teknologiske innovationer, der var rettet mod en egentlig gennemtrængning af det civile marked.

Endelig havde udviklingen i de vestlige industrialiserede lande efterhånden nået et stade, hvor der i stadigt stigende grad forelå et behov for teknologi, der kunne realisere *automation* på stadigt flere *civile* områder. En udvikling, der stimuleredes af 60'ernes stigninger i udlægget til arbejds-lønninger, i forbindelse med den industrielle reservearmes mindskelse.

Den generelle samfundsmæssige teknologiske udviklingsfase i perioden efter II verdenskrig er blevet karakteriseret på flere forskellige måder. Mandel har omtalt denne fase for de centrale kapitalistiske økonomiers vedkommende som den 3. *teknologiske revolution*. Den 3. teknologiske revolution forstås her som den lange konjunkturbølge, der i Nordamerika tager til omkring 1940, og i de øvrige centrale kapitalistiske økonomier omkring 1945-48, og som især er kendetegnet af en udbredt styring af maskiner med *elektronisk* udstyr. (Mandel, 1976, s. 104). Mandel hæfter sig derved i det væsentlige ved udbredelsen af proces-automation i den

materielle produktion, når han karakteriserer den 3. teknologiske revolution (Mandel, 1976, kap. 4 og 6).

Når det gælder om at gøre rede for mønsteret i de industrialiserede samfunds behov for mikroelektronisk teknologi, der kan realisere automation, er det imidlertid for snævert at fokusere på den *materielle produktion* og *dennes proces-automation*. Den 3. teknologiske revolution er et langt bredere fænomen, der også omfatter *automation af immaterielle/symbolproducerende produktionsprocesser*, hvis endemål er fremstilling af informationer og data, både i den private og statslige sektor. Endelig omfatter den også automation af *konsumgoder*. (Freeman (1), 1982, s. 64-65).

I modsætning til supermagtskapløbets veldefinerede og snævre behov for komponenter til militær kommunikation og missilernes styringsautomatik, så var de civile behov stærkt *uensartede og mangfoldige*. Idet de var fordelt over flertallet af samfundsmæssige felter—ikke bare af erhvervsmæssig art. De civile behov udgjorde derfor (I) et *mangeartet spektrum af utallige specielle behov for særlige automatiske databehandlingsfunktioner*. Ønsket om at opfylde disse behov kom til at udgøre den *første* af de nye betydningsfulde interesser i halvlederteknologisk innovation.

Der eksisterede også en anden grundlæggende forskel på de statslig-militære behov og de civile. De statslig-militære instanser kunne betale meget højere priser per produktenhed end det civil-kapitalistiske marked, der var *bundet* af kapitalakkumulationens *loft* over produktionsomkostningerne (man skal ned på et bestemt omkostningsniveau til løn og produktionsmidler før produktionen er profitabel). Den halvlederteknologiske udvikling havde nemlig i 50'erne og frem til slutningen af 60'erne betydet, at kredsen af elektronikbrugere reelt var eksklusiv. Transistorbaserede og integrerede kredsløbssystemer var *dyre* i køb og anvendelse. Mulige brugere var kun de institutioner, som besad maksimale ressourcer. Det vil sige militær og rumfart. En egentlig gennemtrængning af de civile

markeder fordrede derved, at halvlederelektronikkens økonomiske eksklusivitet i stadigt stigende grad ophævedes. Stigningen i arbejdslønninger i løbet af 60'erne hjalp formentlig godt på vej. Men forudsætningen for at forvandle de civile behov for automatisk databehandling til reelle aftagermarkeder for halvlederindustrien var i sidste instans følgende: At de mikroelektroniske komponenter blev (II) *tilstrækkeligt billige i køb og anvendelse* til, at de potentielle civile brugere var købedygtige. Billiggørelse blev derfor den *anden* nye basale interesse i halvlederteknologisk innovation.

I den sidste halvdel af 60'erne og i begyndelsen af 70'erne fremkom dermed i stigende grad et *kommercielt pres* mod frembringelse af halvlederteknologiske innovationer, der for alvor kunne åbne op for det civile marked. Kapløbet om teknologisk betingede ekstraprofitter var drivkraften i denne udvikling, som betød at den statslig-militære styrkeposition også mindskedes. Kapløbets fremadskriden betød den gradvise etablering af den "sædvanlige" kapitalistiske konkurrence mellem enkeltvirksomheder på et åbent marked uden teknologipolitisk indblanding af betydning fra statslige instansers side. Gunstig kapitalakkumulation kunne kun finde sted som led i en skarp konkurrence om tilegnelsen af ekstraprofitter ved teknologiske gennembrud, der resulterede i markedsgennemtrængning og -ekspansion. De kapitaler, som først erobrede disse markedsudvidelser, tilegnede sig betydelige teknologisk betingede ekstraprofitter. For det første gennem den midlertidige monopolsituation, der opnåedes, før innovationen efterlignedes af de nærmeste konkurrenter. For det andet gennem det lavere omkostningsniveau, der opnåedes i forhold til konkurrenterne, før de eventuelt indhentede dette. Kapløbets tabere stod i fare for på kortere eller længere sigt at blive elimineret som selvstændige virksomheder. *Ekstraprofitjagten* blev derfor en *forcerende drivkraft*, som på samme måde som i 50'ernes og 60'ernes supermagtskonkurrence pressede på for den stadige

frembringelse af teknologiske innovationer i interessante retninger. Intensiteten af konkurrencen om ekstraprofitter udgjorde således den nye krafts *styrke*. Ligesom ekstraprofitjagten skabte den *tredje* nye basale interesse i halvlederteknologisk innovation. Nemlig (III) *profitabilitet på det åbne marked*.

Resultatet blev, at halvlederproducenterne efterhånden stod overfor et overvejende civilt privatkapitalistisk marked, der ikke var karakteriseret af nogen veldefineret og samlet teknologipolitisk planlægning—ikke mindst hvad angik halvlederteknologiens udvikling. Afsætningsmarkedet var nu blevet åbent og konkurrencen sluppet løs. Halvlederproducenterne måtte derfor nødvendigvis selv antage en mere aktiv teknologiformende rolle i samspillet med hinanden og de civile behov. De potentielle *civile* afsætningsmarkeder meldte sig nu for alvor som halvlederkapitalens *teknologiske problem*. Den statslig-militære styrkepositions forsvinden betød derfor overflytningen af en væsentlig del af den innovationsdefinerende aktivitet til halvlederindustrielt regi. Denne overflytning af innovationsdefinerende aktivitet fra konsumenterne til producenterne indebar, at halvlederindustriens teknologipolitiske magt over halvlederteknologiens udvikling steg. (OECD, 1968, s. 73-74).

Hvor 50'ernes halvlederudvikling i høj grad var et envejs planmæssigt kommandoforhold fra statslige brugere til producenter, så blev 70'ernes udvikling i høj grad en *gensidig vekselvirkning* mellem halvlederproducenter og civile konsumenter.

Den videnskabelige baggrund

Den tidligere nære forbindelse mellem grundforskning og halvleder-virksomheder begyndte at gå i opløsning i 60'erne, da industrien fandt ud af, at dens økonomiske fremtid lå i at producere og sælge *germanium*- og *silicium*-halvlederkomponenter. Det var på disse to felter, der tydeligvis forelå en stor mængde uudnyttet videnskabelig-teknologisk viden. Ikke tilfældigt måtte *forskning* og *udvikling* i slutningen af 70'erne derfor være *meget anvendelsesorienterede* for at tilfredsstille industriens krav. Mange videnskabelige forskere, især dem der ikke arbejdede i umiddelbar tilknytning til industrien, var til gengæld ikke særligt interesserede i halvlederteknologiens produktive anvendelse og økonomiske forhold. Blandt disse forskere eksisterede der den udbredte opfattelse, at germanium og silicium var "overrendte" forskningsområder. De rettede derfor i stedet deres forskningsinteresse mod mere fremmedartede halvledermaterialer, som for eksempel kemiske forbindelser af grundstofferne i gruppe III og V, og forbindelser af stofferne i gruppe II og VI, samt endelig organiske forbindelser. (Braun, 1979, s. 167, 169).

MOS-innovationsprocessens forløb

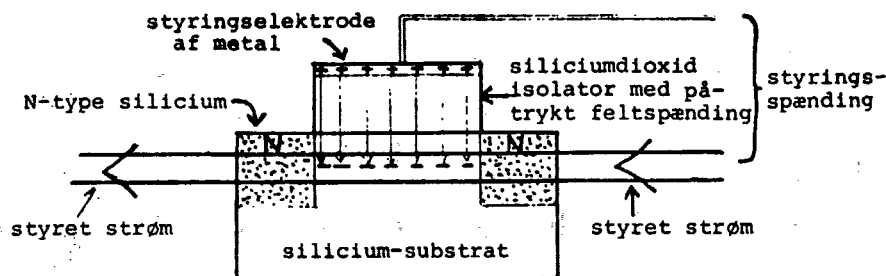
Opfindelsen og udviklingen af MOS-teknologien er et eksempel på: 1) hvorledes den militære teknologipolitiske planlægning selektivt undertrykte udviklingen af en bestemt gren af halvlederteknologien, og 2) at der skulle finde et teknologipolitisk magtskifte sted, som ophævede de statslig-

militære teknologiformende kræfters dominerende betydning, før at MOS-teknologien realiseredes som kommercielt profitabel innovation.

Som allerede nævnt i afsnit 2 havde man forstillet sig en felteffekt-transistor så tidligt som i 1930 i en patentansøgning af Lilienfeld, og det var denne type komponent, som Shockley og hans kolleger søgte efter i 1947 og udarbejdede et teoretisk princip for. Som nævnt i afsnit 4 prægede militæret 50'ernes transistor-teknologiske udvikling planmæssigt via teknologipolitiske virkemidler, som var rettet mod at fremme bestemte træk ved teknologiudviklingen. Interessen i at udvikle masseproduktioner af transistorer, der kunne arbejde ved højere frekvenser, var især stærk. Også felteffekt-transistorens udvikling prægedes kraftigt af den militære interesse. Bell fortsatte på baggrund af Shockley's arbejde med at undersøge felteffekttransistorer i håbet om at opnå højere frekvenser, men indsatsen ophørte efter diffusions-innovationen i 1955. Som tidligere beskrevet valgte militæret nu at gå kraftigt ind og selektivt forcere diffusionstransistorens videre udvikling til masseproducerbar komponent gennem en massiv ressourcemæssig indsats i sidste halvdel af 50'erne. Den senere selektive statslige satsning på udviklingen af en mikroelektronisk teknologi, der i begyndelsen af 60'erne udmundede i frembringelse af den bipolar IC-teknologi på planarproces-basis, betød yderligere undertrykkelse af den unipolære felteffekttransistor-teknologis videre udvikling. MOS felteffekt-transistoren som diskret komponent fremkom først som laboratoriemodel og prototype så sent som i 1962. Skønt RCA tilkendes den oprindelige ide, fandt det første forsøg på at fremstille denne komponent sted hos Fairchild Semiconductor. (Braun, 1979, s. 83) (Borrus, 1982, s. 24-28) (Golding, 1971, s. 83).

De oprindelige *bipolære* integrerede kredsløb var ligesom 50'ernes bipolar transistorer baseret på Shockley's fladekontakt-princip, og den elektroniske aktivitet udspandt sig inde i dem. MOS-integrerede kredse

betegnedes derimod som *unipolære*, idet de var baserede på Shockley's felteffekt-transistorprincip, og den elektroniske aktivitet forgik på halvlederoverfladen. (Braun, 1979, s. 143).



Figur 6.1 MOS felteffekt-transistoren som forstærker

MOS felteffekt-strukturen var grundlæggende bygget op af en Metalstyringselektrode, et Oxidlag og et halvlederlag (Semiconductor) af silicium. Det påtrykte felt inducerer *negative* ladningsbærere i siliciumsubstratet. Disse foretager ladningstransporten gennem felteffekt-strukturen. Derfor betegnedes denne transistortype som *unipolær* i modsætning til fladekontakt-transistoren. I sidstnævnte foregår ladningstransporten både med *positive* og med *negative* ladningsbærere. Derfor kaldtes denne transistortype *bipolær*.

Da de statsligt-militære instanser imidlertid satsede selektivt og planmæssigt på videreudviklingen af den *bipolære* IC-teknologi i den første halvdel af 60'erne gennem tilførsel af store ressourcer til halvlederindustrien, blev MOS-udviklingen reelt lagt på hylden hos de store halvledervirksomheder. Det var jo netop disse som indgik de store statslige kontrakter. Dette tillod små virksomheder som General Microelectronics og General Instruments at tage initiativet i udviklingen af MOS-teknologien. Disse to

virksomheder var ansvarlige for at lade de første MOS-integrerede kredse løbe af stablen i 1965. Formentlig var en betydelig grund til de statslig-militære instansers manglende interesse i MOS, at den ikke kunne arbejde med nær så høje frekvenser som den bipolære IC-teknologi. (Braun, 1979, s. 143).

Fairchild's 930-serie DTL af bipolære IC'er førte an på markedet fra 1965 til 67. Fairchild opnåede dette førerskab ved at gå over til en ny kapitalakkumulationsstrategi, der gik ud på at gennemtrænge de *civilt* orienterede computer-og industrimarkeder gennem kraftige *prisreduktioner* og herved opnå betydelige *ekstraprofitter*. Fairchild's andel af dette nye marked steg hurtigt fra 18% i 1964 til 24% i 1967. Adskillige andre halvledervirksomheder herunder TI og Motorola indså på dette tidspunkt potentialerne i Fairchilds nye kapitalakkumulationsstrategi og 930-serien, hvorfor de imiterede sidstnævnte og deltog i den tidlige gennemtrængning af computer- og industrimarkederne. Det *militære* markeds relative betydning var klart *aftagende* i den sidste del af 60'erne. Texas Instruments, der i 1964 havde ført an på det fuldstændigt statslig-militært dominerede marked for IC'er, mistede meget store markedsandele i konkurrencen med 930 DTL. Texas Instruments genvandt i sidste halvdel af 60'erne sine store markedsandele gennem introduktionen af ny familie af bipolære IC'er med TTL design og tilegnede sig følgelig betydelige teknologisk betingede *ekstraprofitter*. Dette design viste sig mere interessant for det hurtigvoksende og *civilt* orienterede computermarked end DTL. TTL repræsenterede to betydelige teknologiske innovationer i forhold til DTL, som begge var væsentlige for dets markedsomfange fremgang. TTL-kredsene havde meget hurtigere informationsbehandlingshastigheder end DTL, hvilket tillod databehandling ved endnu højere hastigheder. Desuden udnyttede Texas Instruments TTL-familie procesinnovationer, der muliggjorde en større forøgelse af antallet af komponenter per chip. Denne større pakningstæthed

betød da også, at TI's nye TTL-produkter indeholdt mere komplekse elektroniske delsystemer til en digital computer—de såkaldte *system-byggeblokke*. Disse kunne udføre mere komplekse computer-delfunktioner som f.eks. binær addition og lagring af begrænsede mængder af binær information. (Borrus, 1982, s. 20-22) (Golding, 1971, s. 162) (Wilson, 1980, s. 84-85).

Denne type kredse kan karakteriseres som *MSI* (medium scale integration) for at understrege den højere kompleksitet på 100-1000 komponenter per chip. Den højere kompleksitet betød nødvendigvis stigende omkostninger til designarbejde og innovationer i procesudstyr, som var i stand til blandt andet at realisere den fornødne grad af miniaturisering. Da produktiviteten samtidigt forøgedes bidrog de stigende omkostninger ikke til væsentligt forhøjede priser per produktenhed. Omkostningerne ved at fremstille de enkelte MSI chips var derfor i det store og hele uændrede i forhold til SSI-stadiet. Den øgede IC-kompleksitet betød derfor en yderligere realisering af et af planarprocessens iboende *civilt* interessante potentialer, nemlig *billiggørelse af automatisk databehandlingskraft*. I og med der skulle forbindes færre IC'er til at realisere en digital computer. (Cannon, 1979, s. 1-19) (Borrus, 1982, s. 22).

Texas Instruments havde dermed ligesom Fairchild ændret sin kapitalakkumulationsstrategi fra at være leverandør på det planlagte, men i princippet begrænsede statslig-militære marked, til at forsyne det efterhånden dominerende *civile* marked. De civilt orienterede teknologiformende kræfter var dermed ved at tage overhånd. (Wilson, 1980, s. 84-85) (Borrus, 1982, s. 21-22).

Konkurrencen om at tilegne sig ekstraprofitter gennem frembringelsen af teknologiske innovationer, der kunne drive prisen for elektronisk systemfunktionalitet langt nok ned, fik vidtgående konsekvenser. Flere virksomheder var gået ind i den kommercielle videreudvikling og realisering af

en ny halvlederteknologisk innovation indenfor *planarprocesgrundlaget*. Det var en innovation i designet af de grundelementer som de bipolære i IC'er var bygget op af, nemlig transistorfunktionen. Denne innovation var *MOS-teknologien* (Metal Oxide Semiconductor), som udgjorde en yderligere udfoldelse af potentialerne for billiggørelse af elektroniske systemer i den basale planarproces-IC-fremstillingsmetode. Omkring 1970 var denne teknologi blevet fuldt kommercielt profitabel. Mange af disse virksomheder dannedes ved afhopninger fra eksisterende virksomheder ligesom tidligere. Forskellen var, at det nu var det civile markedes løfter og ikke det statslige marked, som motiveredes spin-off virksomhederne. Når MOS-teknologiens markedsudsigter var blevet tilfredsstillende demonstreret, begyndte de store halvledervirksomheder også at bevæge sig ind i denne. (Golding, 1971; s. 65, 83) (Borrus, 1982, s. 24-28) (Braun, 1979, s. 143).

Den simplificerende MOS-felteffekt struktur reducerede det samlede antal involverede procestrin. Desuden krævede MOS-transistorer ingen isolation mellem komponenterne, hvilket muliggjorde en betragteligt højere kredsløbstæthed på chip'en. Her har mere nøjagtigt procesudstyr givetvis også spillet en afgørende rolle. Men alt i alt muliggjorde MOS i slutningen af 60'erne *LSI* (large scale integration), som angiver en kompleksitetsgrad på 1000-100.000 komponenter per chip. (Golding, 1971, s. 82) (Braun, 1979, s. 144).

Da behandling af høje frekvenser som beskrevet i afsnit 4 i langt større grad var en militær end en civil interesse, var denne mangel ikke noget problem på det civile marked. De færre procestrin, det højere produktionsudbytte og den højere grad af kredsløbsintegration på den enkelte chip, som alle muliggjordes ved MOS-fabrikation, betød *lavere produktionsomkostninger*. Dette tillod en billiggørelse af prisen for komplekse integrerede kredse. Endeligt havde MOS-komponenter et meget *mindre effektforbrug*. Hvilket betød stærkt reducerede krav til strømforsyningen. Alt i alt

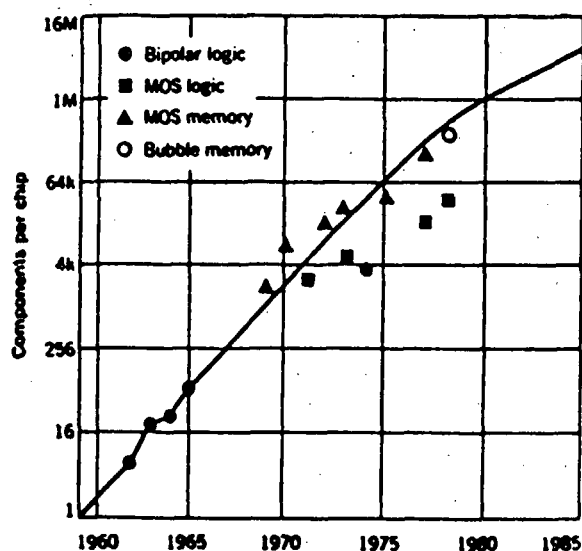
muliggjorde MOS en *billiggørelse af omkostningerne* forbundet med køb og anvendelse af komplekse elektroniske systemer, hvilket netop var en forudsætning for indtrængen på det civile marked. (Borrus, 1982, s. 25-28) (Golding, 1971, s. 82-83) (Braun, 1979, s. 143).

Imidlertid manglede halvlederproducenterne at løse et væsentligt problem, nemlig hvilke civilt interessante elektroniske systemer der skulle have LSI-kompleksitet.

IC-design innovationsprocessen

Figur 6.2 angiver dermed kompleksiteten af de mest komplekse IC typer kommercielt tilgængelige på et givet tidspunkt siden IC'ens opfindelse i 1959. Kompleksiteten eller integrationstætheden måles i komponenter per chip. Denne akse er logaritmisk inddelt og talværdierne vokser med potenser af 16 (4K = 4000 og 1M = 1.000.000). Kurvens hældning er et mål for teknologiudviklingens hastighed.

I figuren er der et spring mellem 1965 og 69. Perioden før 65 er som beskrevet kendetegnet ved den bipolære IC-teknologi. Dette gab er ikke uvæsentligt, men optrådte, fordi det på daværende tidspunkt var vanskeligt at definere nogen som helst halvlederprodukter, hvis chip-kompleksitet kom tæt på den teknisk mulige. Dette gab udvikledes ikke, fordi der var mangel på FoU-aktivitet—det var faktisk, som vi allerede har set, en periode med intens FoU-aktivitet. Gabet udvikledes i stedet på grund af vanskeligheder med i det hele taget at *definere* højkomplekse IC-produkter af LSI-integrationsgrad, der var *rentable* på de civile markeder. (Moore, 1979, s. 31-32).



Figur 6.2: Moore's lov (Moore, 1979)

IC-industrien stod således i en skærpet situation. Konkurrencen om teknologisk betingede ekstraprofitter udgjorde et pres mod de enkelte virksomheder. De virksomheder, der først løste den *civile produktdefinitions-problematik* og dermed *sænkede prisen* for elektronisk systemfunktionalitet yderligere, kunne påregne kraftig vækst i kapitalakkumulationen. Hvorimod de, der mislykkedes, stod i fare for ikke at kunne opretholde deres akkumulationsdygtighed på længere sigt. Ikke mindst fordi nye produktgenerationer med fordel ville kunne anvendes frem for eksisterende på adskillige områder.

Den manglende profitabilitet af højkomplekse IC-produkter havde baggrund i, at de potentielle *civile* afsætningsmarkeder var for *små* og

mangeartede og karakteriseret af utallige specielle varianter af automatiske databehandlingsfunktioner. Den høje kompleksitet af systemerne på LSI-chips gjorde dem dermed for specielle til, at *prisen* kunne drives langt nok ned til, at det civile marked kunne aftage dem. Omkostningerne forbundet med at designe sådanne specialiserede LSI-chips var meget store. Designarbejdet var omfattende og LSI-procesudstyret komplekst og kapitalkrævende. For at opnå tilstrækkeligt lave omkostninger per produktenhed var meget store produktionsserier nødvendige. Disse store produktionsserier var simpelthen ikke mulige for sådanne højspecialiserede IC-komponenter, der jo havde små markeder. Prisen for elektronisk systemfunktionalitet kunne da ikke gøres lavere end for de eksisterende SSI- og MSI-produkter, hvilket udelukkede profitabel produktion. (Borrus, 1982, s. 22) (Moore, 1979, s. 32).

Halvledervirksomhedernes søgeproces efter passende design-innovationer indenfor MOS LSI fortsatte, og i årene omkring 70 fandt halvlederproducenter den innovative udvej af produktdefinitions-problematikken. Man løste modsætningen mellem LSI-systemkompleksitet og civile massemarkeder ved at definere to slags LSI-produkter:

- 1) Integrerede kredse, der var tilstrækkeligt *universelle* i deres anvendelsesområder, til at de kunne produceres i masseomløb. Det drejede sig om *computerhukommelses-IC'er* og *mikroprocessorer*. Disse var egentlige *subsystemer* til den *digitale computer*. Endeligt havde man i 1974 oparbejdet teknologiske kapabiliteter til at kunne anbringe et helt digitalt *computersystem* på en chip. Denne fik navnet *single-chip computeren*. Alle tre produktinnovationer opnåede deres anvendelsesmæssige universalitet i kraft af at være digitale computer-(sub)systemer. Den digitale computer kunne igennem *programmering* bringes til at varetage utallige *specielle automatiske databehandlingsfunktioner*.

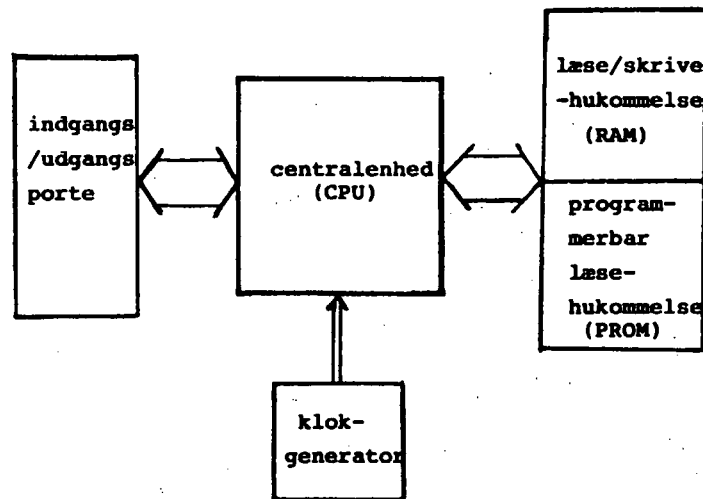


Fig. 6.3: De grundlæggende funktionelle enheder i den digitale computer

- 2) Integrerede kredse der, selv om de var rettede mod *specialiserede* behov, undtagelsesvist kunne afsættes profitabelt på massemarkeder. Disse markeder var indlysende nok i det store og hele de manipulerbare *forbrugerbehov*, der igennem markedsføringsstrategier kunne bringes til at benytte en række specielle LSI-baserede produkter i massemålestok. Det drejede sig om en række forskellige special-IC'er til forbrugerprodukter, nemlig specialkredse til elektronregnerne (først bordregnerne senere også lommeregnerne), digitalure, elektroniske spil (som f.eks. TV-spil) og et antal mindre betydende anvendelser. Disse var *computersubsystem-lignende*

produkter, der var kendetegnet ved at varetage højst specielle automatiske databehandlingsfunktioner.

Alle disse nye LSI-produkter udgjorde en *betydelig billiggørelse* af automatiske databehandlingsfunktioner og lignende. Forudsætningen, for at forstå hvorledes denne billiggørelse kom i stand, er imidlertid indsigt i den digitale computers grundlæggende arkitektur.

Som vist i blokdiagrammet i figur 6.3 er den digitale computers grundlæggende funktionelle enheder følgende:

- 1) *Hukommelsen*, som indeholder program-instruktionerne og data, der skal manipuleres af programmerne. Den kan opdeles i A) en (eventuelt) *programmerbar læse-hukommelse* også kaldet *PROM* (en forkortelse for "programmable read-only memory") med permanente instruktioner og B) en *læse/skrive-hukommelse* også kaldet *RAM* (en forkortelse for "random access memory") til data og foranderlige instruktioner.
- 2) *Indgangs/udgangs portene* også kaldet *I/O ports* (en forkortelse for "input/output ports"), som forbinder computeren til perifere enheder som bruger-terminaler, store magnetiske skivelagre og skrivere, således at start-data og eventuelle program-instruktioner kan indlæses i hukommelsen og resultaterne kan udskrives fra denne.
- 3) *Centralenheden* også benævnt *CPU* (en forkortelse for "central processing unit"), som kontrollerer data-flow'et gennem computersystemet og eksekverer sekvensen af program-instruktioner. *Mikroprocessoren* er en CPU på en chip. Denne eksekvering indebærer:
 - A) at aflæse den enkelte instruktion fra hukommelsen.

- B) at fortolke denne instruktion, for det første for at afgøre hvilke operationer, der skal udføres på hvilke data, og derefter manipulere data i overensstemmelse med disse, og for det andet for at afgøre hvilken instruktion, der derefter skal eksekveres.

Disse tre grundlæggende funktionelle enheder svarer til, at der erkendelsesteoretisk set i det væsentlige er tre typer af operationer, der kan udføres på data. De kan *lagres*, *distribueres* og *bearbejdes*. Analogien med mennesket kan strækkes yderligere, idet den digitale computers *fjerde* funktionelle enhed giver et "pulsslag":

- 4) *Klok-generatoren* (en fordanskning af "clock generator") er en elektronisk tidtager, der frembringer det periodiske elektroniske signal (pulsslag), som synkroniserer alle computerens aktiviteter og afpasser dem tidsmæssigt i forhold til hinanden. Computeraktiviteternes periodiske tidsmæssige rytme kaldes *maskincyklussen*.

Disse fire funktioner udgør den digitale computers grundlæggende strukturelle elementer.

Den halvlederteknologiske udvikling stod derfor i begyndelsen af 70'erne som opdelt på en række mere eller mindre betydelige felter.

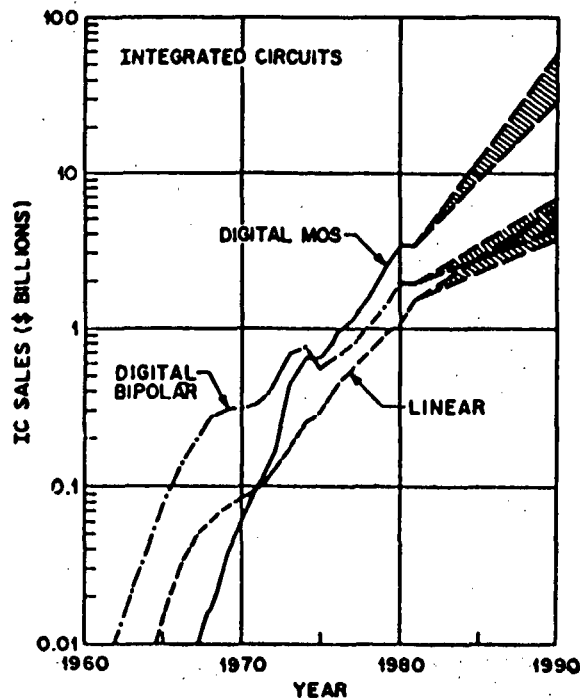
Tabel 6.1: Udviklingen i salget på USA-markederne for betydningsfulde IC-produkter i 70'erne (i mio. \$). (Electronics 4-1-73, 6-1-77, 13-1-81)

	1971	1975	1979
mikroprocessor-familier	0	70,9	385,5
hukommelses-ICer	60,9	337,4	1307,3
elektronregner-ICer	0	3,7	54,0
ur-ICer	0	9,7	60,0
spil-ICer	0	7,9	55,0

De rene forbrugerproduktmarkeder var af deres natur relativt begrænsede markeder. De kraftigst ekspanderende og mest voluminøse massemarkeder var derfor mikroprocessor-markedet og frem for alt markedet for hukommelses-IC'er. Det var dermed her, de største teknologiske ekstraprofitter ved konkurrence om markedsudvidelser var at hente. Ikke uventet var det også her, man oplevede den største innovationsindsats og teknologiudviklings-hastighed i 70'erne. (Hazewindus, 1982, s. 77).

Hukommelses-komponenter og mikroprocessorer udgjorde forskellige grundlæggende funktionelle elementer i den digitale computer. De udgjorde egentlige computer-subsystemer. Den innovative bestræbelse på profitabelt at billiggøre databehandlingskraft måtte derfor få forskelligt udløb på disse to halvlederteknologiske felter. På hukommelses-komponent feltet måtte innovationsaktiviteten nødvendigvis fokusere på billiggørelse af køb og anvendelse af datalagringskapacitet. På mikroprocessor-området måtte innovationsindsatsen nødvendigvis dreje sig om billiggørelse af køb og anvendelse af databearbejdningsskraft. De udviklede masseproduktionsteknologier skulle selvfølgelig være profitable på det åbne civile marked.

MOS dynamiske RAM IC'er havde en særlig simpel hukommelsescelle. Dette førte til den laveste pris for hukommelseskapacitet blandt IC'er.



Figur 6.4: Fordelingen af salget af betydningsfulde IC-typer på USA-markedet (\$ billions = mia. \$) (Sze, 1983, s. 3)

Denne fordel, samt RAM-hukommelsens store betydning i den digitale computer, sikrede MOS dynamiske RAM maksimal markedsandel. (Haze-windus, 1982, s. 63).

Udviklingen af *mikroprocessorer* og *MOS dynamiske RAM IC'er* blev derfor særligt betydelige områder for halvlederteknologisk innovation i 70'erne. Disse skal derfor følges på nært hold i det følgende. Resultatet af MOS IC-teknologiens gennembrud på det civile marked blev en voldsom ekspansion, der klart overgik bipolar-teknologiens ekspansionstakt i

salgstal. I 1974 oversteg salget af MOS-komponenter på USA-markedet salget af bipolære IC'er. En tendens der fortsatte (se figur 6.4). I 1965 var den statslige andel af USA-markedet for IC'er 55%, og i 1974 var den 10%. Marginaliseringen fandt imidlertid ikke sted ved det statslig-militære markeds absolutte aftagen. Det udviste tværtimod en langsigtet stigende tendens. Det civile marked voksede derimod meget hurtigere, nærmest eksplosivt (se tabel 6.2).

Tabel 6.2: Ændringen i fordelingen af IC-markedet i USA, 1962-78 (Borrus, 1982, s. 18).

%værdi af samlede USA-salg					
Markeder for den endelige brug af IC'er	1962	1965	1969	1974	1978
statslige	100	55	36	20	10
computer	0	35	44	36	37.5
industrielle	0	9	16	30	3
forbruger	0	1	4	15	15
Samlede USA- salg i mio.\$	4	79	413	1204	2080

RAM-innovationsprocessens forløb

De nyudviklede MOS hukommelses-IC'er repræsenterede en billiggørelse af elektroniske hukommelser til digitale computere. I 50'ernes og 60'ernes digitale computere spillede *ferritkerne-hukommelser* en betydelig rolle. Disse hukommelser benyttede magnetiserbare kerner eller ringe af materialet ferrit med en diameter på mindre end en millimeter. Ferritringene sad i tusindvis omkring knudepunkterne på tredimensionale strømledende gitre af tynde metaltråde. Sådanne gitre udgjorde datidens RAM-hukommelser. Elektronisk information kunne lagres i en given ferritring ved at sende en elektrisk strøm gennem en særlig udvalgt metaltråd. Herved magnetiseredes ringen i en given retning. Aflæsning af information foregik tilsvarende ved at sende en elektrisk strøm via en anden udvalgt metaltråd gennem den samme ferritkerne. Kernehukommelses-elementer kunne kun produceres ved at de enkelte ferritringe blev sat på de hårtynede metaltråde med hånden. Dette betød, at der var *grænser* for hvor meget computerhukommelser kunne *billiggøres* via denne teknologi. MOS IC-teknologien var derimod en egentlig masseproduktionsteknologi (ligesom den planarproces den i bund og grund byggede på), og MOS hukommelses-IC'er betød hurtigere tilgang til data, mindre fysisk størrelse og lavere effektforbrug, alt sammen til betydeligt *lavere omkostninger*. Dette åbnede op for en omfattende gennemtrængning af det civile markedes forskellige afsnit, sådan at digital computerhukommelseskapacitet ville kunne bruges, hvor det aldrig før havde været muligt. (Hodges, 1977, s. 55).

På baggrund af disse gunstige markedsmæssige muligheder for store teknologiske ekstraprofitter formedes der adskillige nye selskaber i 1968 for at udvikle halvlederhukommelses-produkter. Dette galdt for eksempel *Intel*, der dannedes som et spin-off firma fra Fairchild. Det første større

gennembrud var i 1970 med introduktionen af den første 1K (1000 bit) RAM. Intel var banebrydende med udviklingen af *polysilicium MOS-teknologien*, som var afgørende for needbrydningen af den teknologiske barriere for produktionen af 1K RAM'en. I sin søgning efter maksimale *teknologiske ekstraprofitter* havde Intel investeret mere i FoU-arbejde på halvlederhukommelsesfeltet end sine konkurrenter. Så snart virksomheden oprettedes i 1968, begyndte Intel's ingeniører at arbejde på et splinternyt koncept at lave hukommelseschips efter. Den grundlæggende MOS felteffekt-struktur (Metal-Oxide-Semiconductor) bestod af halvledermateriale (silicium) med siliciumdioxid som isolationslag og styringselektrode af metallet aluminium (se også figur 6.1). Men anvendelsen af metal gjorde fremstillingsprocessen så ømtålelig og upålidelig, at kun 5% af de fremstillede IC-komponenter var brugbare. Derfor besluttede R. Noyce og G. Moore at erstatte metallet i styringselektroden med "polysilicium", det vil sige poly-krystallinsk silicium. Deres tidligere erfaring fra Fairchild havde overbevist dem om, at dette skift ville muliggøre større komponenttæthed, højere produktionsudbytter, og derfor *betydeligt reducerede omkostninger*. De blev bekræftede, når de fik produktionsudbytter på 10% med deres første hukommelses-chip. Men det var deres andet polysilicium MOS-produkt: 1K RAM'en 1103, som slog igennem. Da Intel's 1103 blev fast etableret som det dominerende produkt, fremkom både American Microsystems og Fairchild med deres "egne" versioner af 1103. Intel havde allerede vundet den første runde i konkurrencen om teknologiske ekstraprofitter. (Bylinski, 1973, s. 147) (Wilson, 1980; s. 91-2, 179, 183).

I 1973 begyndte *anden* runde af konkurrencen om teknologiske ekstraprofitter, da 4K MOS dynamiske RAM hukommelser introduceredes af Intel, TI og Mostek. Disse tre virksomheder konkurrerede indbyrdes om at blive den dominerende leverandør med deres specifikke design. Intel og virksomheden MIL baserede deres 4K komponentinnovation på ud-

viklingen af en hukommelsescellestruktur, der indeholdt tre transistorer. Dette skal sammenlignes med 1K RAM'en, hvis cellestruktur indeholdt 3-4 transistorer og en kondensator. TI's og Mostek's cellestrukturer indeholdt derimod en transistor og en kondensator. Andre virksomheder var tilbageholdende med at udsætte sig for den økonomiske risiko, som ekstraprofitkapløbet indebar. I 1974 fremstod Mostek's hukommelse som *standard* for det meste af industrien. Baggrundene for de teknologiske ekstraprofitter, som opnåedes på dette marked, var flere. Der blev gjort yderligere indhug på de eksisterende markeder for ferritkerne-hukommelser og åbnet endnu flere markeder end tidligere. Hvor ferritkerner oprindeligt var enerådende, så blev 70% af de nye computerhukommelser designet med halvlederkomponenter, og anvendelserne strakte sig over alle typer af hukommelsessystemer. Desuden udkonkurrerede de nye 4K RAM hukommelseskomponenter den tidligere 1K MOS RAM, da de muliggjorde en yderligere *billiggørelse* af hukommelseskapacitet. Ved at pakke fire gange så mange hukommelsesceller ned på den samme chip-størrelse, samtidigt med at 4K RAM'en arbejdede med samme hastighed som 1K RAM'erne muliggjordes en *prisreduktion* på en faktor fire per bit med introduktionen af 4K MOS RAM'en. Desuden reduceredes anvendelsesomkostningerne også meget, da den var simplere at indkorporere i elektroniske systemer end tidligere MOS RAM'er, uden at bruge mere effekt end disse. Mostek's komponent, der uden tvivl hentede de fleste teknologiske ekstraprofitter hjem, var karakteriseret af to centrale innovationer i cellestruktur, der betød billiggørelse af hukommelseskapacitet. En cellestruktur med en transistor i stedet for tre eller fire betød et forøget antal hukommelsesceller per chip, hvilket betød lavere produktionspris per hukommelses-element. Desuden havde Mostek udviklet en kontaktløs cellestruktur. Denne eliminerede alle kontakter mellem hukommelsescellerne. Denne eliminering forenkledede teknologien betydeligt, da dannelse af kontakthuller var en af de betydelige

faktorer i reduktionen af produktionsudbyttet ved MOS-fabrikation—der var 7000 kontakter i en konventionelt konstrueret 4K RAM på daværende tidspunkt. Desuden betød reduktionen i antallet af tilledninger til chippen fra 22 til 16 en reduktion af omkostningerne til 1) montering af chippen i hus og 2) til plads. (Altman, 1974) (Electronics, 18-12-72) (Electronics, 13-9-73) (Wilson, 1980, s. 92).

I 1975 begyndte *tredje* runde af den markedsræssige konkurrence om *teknologiske ekstraprofitter* på MOS RAM feltet. Intel, Mostek og TI bebudede hver sin 16K *dynamiske hukommelses-IC* i 1975, men i begyndelsen af 1977 var der kun leveret relativt få enheder. Mostek og Intel udviklede "dobbelt-polysilicium" teknologien til deres 16K RAM'er; TI gjorde det ikke og måtte senere omdesigner sin komponent til at bruge denne teknologi. Resultatet af konkurrencekampen blev at Mostek's design blev *industristandard*. *Dobbelt-polysilicium teknologien* var en videreudvikling af den hidtil anvendte *polysilicium teknologi*, som både var anvendt til produktionen af 1K og 4K MOS dynamiske RAM hukommelseskredse. I 4K bit MOS dynamiske RAM måtte transistoren og kondensatoren i den enkelte hukommelsescelle placeres side om side, i samme plan. I dobbelt-polysilicium teknologien var cellearealet formindsket ved at lagringskondensatoren, som lagrer ladningen svarende til en logisk tilstand, var anbragt direkte under cellens enkelte transistor. Da kondensatoren og transistoren typisk var af samme størrelse, optog dobbeltniveau 16K cellestrukturen omkring halvdelen af det siliciumareal, som den udsprede 4K enkelt-niveau cellestruktur optog. Derudover fungerede den mere effektivt. Baggrundene for de *teknologiske ekstraprofitter* var i det væsentlige flere. Der blev gjort yderligere indhug på de efterhånden reducerede markeder (relativt) for ferritkerne-hukommelser, og stadigt åbnet nye markeder op. Desuden udkonkurrerede den nye 16K MOS dynamiske RAM den tidligere 4K RAM generation, da den muliggjorde en yderligere billiggørelse af hukommelseskapacitet. Sammen-

lignet med de eksisterende 4K designs tilbød 16K komponenten fire gange så meget hukommelseskapacitet til den samme pris. Både Intel, Mostek og TI fik imidlertid produktionsproblemer, hvilket gjorde *japanske virksomheder* i stand til at opnå en betydelig del af 16K salget. I midten af 1979 stod de japanske virksomheder for 42% af omsætningen. (Altman, 1976, s. 74-77) (Coe, 1976, s. 116-17) (Wilson, 1980, s. 93-94).

Udviklingen af stadigt mere komplekse MOS dynamiske RAM chips i løbet af 70'erne betød efterhånden en overgang fra LSI-kompleksitet (1000—100.000 komponenter per chip) til VLSI-kompleksitet (over 100.000 komponenter per chip). VLSI står for "very large scale integration". En tilsvarende men forsinket bevægelse gjorde sig gældende i 70'ernes mikroprocessorudvikling. Denne stigende kredsløbstæthed blev kun mulig i kraft af den løbende introduktion af stadigt mere kapitalkrævende *proces teknologiske innovationer*. Udgifterne til at etablere et silicium-wafer fremstillingsanlæg steg fra 2 mio. \$ i 1970 til 50 mio. \$ i 1979, ligesom at FoU-omkostningerne til design af IC'er steg voldsomt. På den anden side voksede produktiviteten også drastisk, hvilket betød, at chip-prisen tilnærmelsesvis forblev konstant. (Rosenberg, s. 181, 1982).

Resultatet af den teknologiformende krafts aktivitet i 70'erne blev derfor et skarpt fald i prisen for elektronisk systemfunktionalitet.

Mikroprocessor-innovationsprocessens forløb

Mikroprocessoren repræsenterede et gennembrud i digitalt IC-design. Igennem opfindelsen af mikroprocessoren i 1971 muliggjordes for første gang placeringen af central-enheden til en digital computer på en eneste chip. Når mikroprocessoren blev elektrisk forbundet en række perifere

komponenter (dens "familie" af komponenter) heriblandt en PROM IC, udgjorde de tilsammen en *mikrocomputer*. Denne kunne *programmeres* til en lang række forskellige specielle databehandlings-anvendelser ved lagring af et program i den tilhørende PROM hukommelses-IC. I modsætning til de eksisterende generationer af digitale computere: den store *mainframe-computer* og den mellemstore *minicomputer* var anvendelsen af mikrocomputeren til nye produkter og processer ikke begrænset af størrelse, kompleksitet eller effektforbrug. Dette åbnede op for en omfattende gennemtrængning af det civile markeds forskellige afsnit, sådan at digital computerkraft ville blive brugt, hvor det aldrig før havde været muligt. Mikrocomputeren bidrog til *mindskede omkostninger* på flere måder:

- Mikrocomputeren bestod af ganske få masseproducerede LSI-chips.
- Udviklingstiden var kortere end ved sammensætning af mange elementære digitale byggeblokke af SSI og MSI integrationsgrad (se afsnit 5) til et digitalt computersystem. For det første tog det kortere tid at forbinde så få LSI IC'er. For det andet kunne man ofte erstatte en besværlig sammenlodning af enkelt-komponenter med programmering.
- Det mindre antal forbindelsesledninger resulterede i øget pålidelighed.
- Det reducerede effektforbrug betød mere beskedne krav til strømforsyning.
- Den reducerede effektafgivelse betød mindre krav til køling.
- Miniaturiseringen betød at systemet var mindre pladskrævende og direkte bærbart.

Introduktionen og den videre udvikling af mikroprocessorer var været forbundet med store teknologiske ekstraprofitter til de involverede virksomheder i takt med at stadigt nye markedsområder åbnedes. Mikroproces-

sorerne fortrængte tidligere generationer af halvlederkomponenter og elektromekaniske systemer (f.eks. relæer) fra en betydelig del af deres tidligere anvendelser. Ligesåvel som at mikroprocessorerne fandt en endnu længere række nye anvendelser.

Mikroprocessorens opfindelse var et sideskud på udviklingen af chips til elektronregnerne. I 1971 opfandt man hos Virksomheden Intel den første *4-bit mikroprocessor*. Designet af Intel 4004, som den betegnedes, resulterede fra en kontrakt med en japansk fabrikant (Busicom) af bordregnerne. De regner som var i produktion krævede typisk et halvt dusin specialgjorte MOS-chips, hvor hver chip indeholdt 600-1000 transistorer. Hos Intel var man overbevist om, at virksomhedens nyudviklede *polysilicium-teknologi* kunne opnå tilstrækkeligt *lave* produktionsomkostninger ved en kompleksitet på måske 2000 transistorer per chip. Efterhånden som mikroprocessoren blev accepteret på markedet begyndte andre virksomheder at udvikle deres egne design—tydeligvis med forhåbninger om eventuelle *ekstraprofitter*. (Wilson, 1980, s. 95).

I 1972 introduceredes den første *8-bit mikroprocessor* 8008 på markedet før andre virksomheder var begyndt at levere deres 4-bit komponenter. Til industriens overraskelse begyndte salget af mikroprocessorer at stige hurtigt. I 1972 var elektronikvirksomheder begyndt at aftage 4004 og 8008 til erstatning af digitale logiske IC'er. Intel indså hurtigt de teknologiske *ekstraprofitmuligheder* og udviklede en efterfølger til 4004 og 8008. Denne 8-bit mikroprocessor, som betegnedes 8080, introduceredes i 1973, endnu før de fleste virksomheder havde introduceret 4-bit mikroprocessoren. Intel skønnes at have haft 99% af mikroprocessorsalget i marts 1973 med sine 4-bit og 8-bit produkter. 8080 var den første komponent med tilstrækkelig databearbejdningshastighed og -kraft i øvrigt til at gøre mikroprocessoren til vigtigt redskab i design af elektroniske systemer. 8080 havde *langt større databearbejdningskraft* end 8008. Derudover var der forskellige design-

forandringer. Ikke mindst væsentligt var, at 8080 kun krævede 6 perifere IC'er sammenlignet med 8008's 20. Denne faktor bidrog yderligere til *billiggørelse* af databearbejdningens kraften. Mikroprocessoren 8080 og dens hurtigere 1974 version 8080A blev de første alment brugte mikroprocessorer. Den hurtige accept af 8080'eren og den store efterspørgsel efter mikroprocessorer betød at andre konkurrerende virksomheder også gik ind på markedet i håb om teknologiske *ekstraprofitter*. Intel vedblev dog at have en høj markedsandel på 80% i 1974. Kun *Motorola* truede Intel på 8-bit området med markedsleverancer af sin 6800 i midten af 74. Senere dette år gik også en række andre virksomheder ind på markedet. I 1975 gik en større mængde virksomheder ind på mikroprocessorområdet. Samtidigt var 8080'eren blevet så dominerende på 8-bit markedet, at den blev *industristandard*, og mange firmaer kopierede produktet. *Motorola's* 6800 lå formentlig på 2. pladsen i markedsandel. Denne blev også kopieret. Den storstilede indtræden på mikroprocessorområdet i 1975 tvang de enkelte virksomheder til at nedsætte deres priser. I 1974 dannede designerne af Intel's 8080A virksomheden Zilog Corporation. I 1976 introducerede denne spin-off virksomhed mikroprocessoren Z80. Denne IC var en hurtigere udgave af 8080A med flere instruktioner, mindre kostbare krav til perifere IC'er og flere andre designændringer. På grund af hård teknologisk konkurrence på 8-bit området—især fra nye mikroprocessorer som Z80, der repræsenterede *mere databearbejdningens kraft for pengene*—introducerede Intel også mere kraftfulde 8-bit produkter. Konkurrencen og lærekurven fortsatte med at drive mikroprocessor-priserne nedad. (Wilson, 1980, s. 95-97) (Wittie, 1983, s. 974) (Noyce, 1981, s. 18) (Zaks, 1977, s. 31).

I 1978 og 1979 rettedes mikroprocessor-fabrikanternes bestræbelser mod at introducere *16-bit mikroprocessorer* på markedet. Den første 16-bit mikroprocessor introduceredes så tidligt som i 1974, da National Semiconductor introducerede Pace. Derefter fulgte andre 16-bit mikroprocessorer—

blandt andet TI's første 9900 processor i 1975. I midten af 1978 introducerede Intel komponenten 8086, den første af en ny generation af mere kraftfulde 16-bit mikroprocessorer. Denne processor var langt hurtigere og repræsenterede en stigning i databearbejdningseffektivitet på en størrelsesorden i forhold til 8080. Zilog introducerede sin 16-bit mikroprocessor Z8000 i begyndelsen af 1979, og Motorola og National bebudede deres versioner i slutningen af 1979. Skønt Intel i 1980 havde den største andel af det nye 16-bit marked, var den dog ikke i nær samme grad førende, som den var på 4-bit og 8-bit markederne. (Wilson, 1980, s. 97) (Noyce, 1981, s. 18).

Sammenfatning

1) Hvilke faktorer bestemte så halvlederteknologiens udvikling i perioden fra 1965-80?

For det første var det *videnskabelige grundlag* afgørende. Siden 60'ernes begyndelse havde den halvlederteknologiske innovationsproces mistet sit indhold af grundvidenskabelig forskning og sin kontakt til universitetsforskningen. Den statsligt-militært forcerede vidensopbygning havde frem til ca. 60 fokuseret på de to relativt simple grundstof-halvledere *germanium* og *silicium*, som der nu eksisterede en vældig fond af videnskabelig viden om. Udnyttelsen af denne mængde af eksisterende viden udgjorde en *randbetingelse* for 60'ernes og 70'ernes halvlederteknologiske innovationsproces.

For det andet var den *nye drivkraft* bag den halvlederteknologiske udvikling afgørende. Hvilken var denne, og hvad var dens *styrke* og *retning*?

Den dominerende halvlederteknologiformende kraft siden slutningen af 50'erne havde været et *raketteknologisk kapløb mellem de to supermagter*. I den sidste halvdel af 60'erne og i begyndelsen af 70'erne udøvede halvlederkapitalerne imidlertid et *stadigt stigende kommercielt pres*. Rettet mod frembringelse af halvlederteknologiske innovationer, der for alvor kunne lukke op for det *civile marked*. Et afsætningsmarked, som nu var modent for gennemtrængning, stimuleret af 60'ernes stigninger i arbejds-lønninger. På baggrund af innovationer, der betød de mikroelektroniske komponenters stadige billiggørelse, åbnedes og øgedes halvlederkapitalens civile afsætningsmarked voldsomt i forhold til det statslig-militære. Således at sidstnævnte, fra at have været enerådende i 50'erne, reelt var uden betydning i sidste halvdel af 70'erne. I takt med det civile markeds ekspansion blev de statslig-militære kræfters kontrol over halvlederteknologi-ens udvikling efterhånden sat ud af spillet. Gennem en meget stærkere krafts indgriben. Denne kraft, som allerede blev *herskende* fra slutningen af 60'erne, var *halvlederproducenternes konkurrence om teknologisk betingede ekstraprofitter i samspillet med potentielle civile markeder*.

Til trods for bortfaldet af betydningen af supermagtskapløbets forcering, så betød dominansen af en ordinær kapitalistisk konkurrence på et åbent marked tydeligvis *ikke* mindske af den teknologiformende krafts styrke. Innovationsaktiviteten vedblev at være storstilet og intens. Baggrunden for, at det var muligt at opretholde en *overgennemsnitlig styrke* var åbenbart to ekstraordinære forhold: Planar MOS IC-fremstillingsmetoden havde iboende potentialer for billiggørelse af elektroniske systemer, og den digitale IC-computer var universel anvendbar *nøgleteknologi* karakteristisk for den 3. *teknologiske revolution*. Disse faktorer kunne derved bidrage til en helt ekstraordinær markedsmæssig vækst og dermed ditto kapitalakkumulation. Hvorved en massiv teknologisk innovationsindsats stadig kunne opretholdes i perioden 1965-80. (Noyce, 1977, s.7).

I det væsentlige havde denne nye drivkraft en retning givet ved de civile ønsker om:

- *tilfredsstillelse af utallige specielle behov for automatiske databehandlingsfunktioner*
- *billiggørelse af automatiske databehandlingsfunktioner*
- *profitabilitet på det civile marked*

2) Hvad var virkningen af dette nye sæt af bestemmende faktorer?

Følgen af denne civilt orienterede og kvalitativt nye, men *stadigt meget stærke teknologiformende krafts* aktivitet blev endnu en ændring af innovationsprocessens forløb. Dens *overgennemsnitlige hastighed blev opretholdt*, hvorimod dens *retning skiftede*. Begge dele i overensstemmelse med den nu herskende teknologiformende kraft: civilt interessante halvlederteknologiske innovationer fulgte efter hinanden i *hastig takt* siden slutningen af 60'erne. På baggrund af kombination af felteffekttransistorprincippet med planarproces teknologien blev den *nye MOS-teknologi* opfundet. Det alternative unipolære (felteffekt) transistor design havde næsten i to årtier været lagt på hylden af de statslig-militære kræfter. Den MOS IC-teknologiske udvikling indebar en fortløbende *billiggørelse af universelt anvendelig computer-hardware til automatiske databehandlingsfunktioner*, som kunne afsættes *profitabelt på det civile marked*. Midlet var en fortløbende miniaturisering, der skred frem fra LSI ind i VLSI. Denne teknologi udgjorde en løsning på den daværende civile automations-teknologiske problematik.

7. Konklusion

Spørgsmål A og B er belyst i afsnittene 2-6 og besvarelsen er trukket op i de enkelte afsnits afsluttende sammenfatninger. Som endelig opsummering må det siges:

Af generelle pointer er det demonstreret, at den *teknologiformende proces* kan forstås som *rettet mod udvidelse af de teknologiske kapabiliteter i veldefinerede retninger* i et mangedimensionalt rum. Samtidigt er disse søgeprocesser karakteriseret ved betemte *hastigheder*. Retningerne er givet ved sæt af delretninger, som angiver den pågældende periodes karakteristiske teknologiske problematikker

Desuden er det vist, at ovennævnte samspil mellem de forskellige bestemte faktorer i den teknologiformende proces kan forstås som *historisk betinget*. Forskellige konstellationer af faktorer og vekselvirkninger er bestemmende i forskellige perioder.

En betydningsfuld bestemmende faktor udgøres af den *videnskabelige baggrund*, som udnyttes i den teknologiformende proces. *Videnskabelige forskningsfelter*, som på denne måde ledsager eller indgår i den teknologiformende proces, kan fungere som *randbetingelse* for processen bl.a. pga. genstandsområdets (her halvlederens komplicerede og derfor erkendelsesmæssigt utilgængelige) karakter. Den teknologiformende proces kan i dette tilfælde kun afstikke retninger inden for det område, det er videnskabeligt muligt at udforske tilstrækkeligt i dybden.

Ekspertbeslutninger kan også være indflydelsesrige faktorer i forløbet af den teknologiformende proces. Især i de tidlige, mere videnskabeligt prægede stadier af en ny teknologisk udvikling. Eksemplet er her fysikeren

Shockley's betydning for forløbet af den opfindelsesproces, der førte frem til det første praktisk succesrige faststofforstærker-gennembrud. Hans beslutninger var af stor betydning bl.a. for tempoet i det arbejde, der som resultat havde opfindelsen af fladekontakttransistor-princippet.

Desuden er det blevet illustreret, at den teknologiformende proces kan forstås som *bevæget af særligt betydningsfulde faktorer*: de såkaldte *teknologiformende kræfter*, som har *retning* og *styrke*, og hvor den enkelte teknologiformende kraft almindeligvis er systematisk virkende over en længere periode eller udviklingsfase. I analysen af halvlederteknologiens innovationshistorie optræder der følgende eksempler på *fremherskende* teknologiformende kræfter nævnt i kronologisk rækkefølge:

- 1) individuelle eksperters bevæggrunde i samspil med samfundets behov (1920-40)
- 2) Bell Laboratories' ekstraprofitkapløb med andre institutioner (1945-50)
- 3) USA's kommunikations- og missilteknologiske kapløb med Sovjet på det militære område (1950-58)
- 4) USA's militære og civile, raketteknologiske kapløb med Sovjet (1958-65)
- 5) USA's halvlederproducenters konkurrence om teknologisk betingede ekstraprofitter på civile markeder (1965-80)

De teknologiformende kræfters *retning* bliver ligesom retningen af den teknologiformende proces givet ved et sæt af *delretninger*. Som f.eks. retningen af kraft nr. 4 ovenfor:

- reduktion af automatiske databehandlingssystemers størrelse og vægt
- masseproduktionsevne

- reduceret effektforbrug
- øget pålidelighed

Sådanne delretninger er *generelt formulerede specifikationer* for den type teknologiske innovationer, som de teknologiformende kræfter arbejder for at gennemtvinge realiseringen af. Med andre ord er en teknologiformende krafts retning beskrevet ved en *ønskeliste af specifikationer* til fremtidigt krævede innovationer. I rumgeometrisk sprogbrug er retningen af en teknologiformende kraft givet ved et sæt af "koordinater" til en "vektor" i et mangedimensionalt teknologisk mulighedsrum (hvis vi helt konsekvent vil holde os til en mekanisk fysisk analogi). Disse bevægelsesgivende faktorer kan tildele den teknologiformende proces en *retning*. Gennem størrelsen af deres styrke kan de også tildele processen en *hastighed*. Forudsætningen er, at den pågældende teknologiformende kraft opnår at blive den *herskende* i en periode.

I de forløbne afsnit er for det *første* blevet demonstreret, at orienteringen af den teknologiformende proces bliver *ensrettet* med den *herskende teknologiformende kraft*. En ny herskende teknologiformende kraft betyder således gennemtvindingen af en kvalitativt *ny* teknologiudviklingsretning, givet ved et nyt sæt af delretninger. F.eks. betød gennemsætningen af den omtalte kraft nr. 4, at retningen af den teknologiformende proces ændredes til:

- miniaturisering fra small scale integration (SSI) til medium scale (MSI)
- konsolidering af planarprocessen som højvolumen-masseproduktionsproces
- miniaturisering indebar stadigt faldende effektforbrug
- miniaturisering indebar stadigt stigende pålidelighed

Fuldstændig i overensstemmelse med retningen af kraft nr. 4.

For det *andet* er det demonstreret at hastigheden af den teknologi-formende proces *vokser* med styrken af den dominerende teknologi-formende kraft. *Meget svage kræfter* som nr. 1 ovenfor giver den teknologi-formende proces en *meget langsom hastighed*: Der fandt *ikke* nogen praktisk brugbare faststofforstærker-innovationer sted i perioden 1920-40. *Kræfter af middelstyrke* som nr. 2 giver processen en *middelstor hastighed*: Der fandt *en* betydningsfuld innovation sted i perioden 1945-50, nemlig fladekontakt-transistoren. *Særdeles stærke kræfter* som 3, 4 og 5 giver processen en *høj, forceret hastighed*, idet betydningsfulde innovationer efterfulgte hinanden i hastig takt i perioderne 1950-58, 1958-65 og 1965-80.

Endelig må det konstateres, at de faktorer og vekselspil mellem faktorer, der bestemmer forløbet af den teknologi-formende proces viser sig at være *mangfoldige*. I modsætning til traditionelle deterministiske betragtningsmåder som f.eks. teknologisk og økonomisk determinisme. Både videnskabelige, tekniske, sociale, kulturelle, politiske, individuelle, kollektive osv. forhold er betydningsfulde i forskellige konstellationer i halvlederudviklingens forskellige faser. Denne *kompleksitet* karakteriserer i særlig høj grad det 20. århundrede. Hvorfor analysemodeller, som den beskrevne, der kan håndtere mangfoldigheden, er særlig velegnede til samtidshistorien.

Alt i alt skulle det være underbygget, at den opstillede aristoteliske teoretiske skitse er anvendelig i en analyse af en konkret teknologiudviklingsproces.

8. LITTERATURLISTE

- Agrell, Wilhelm:** "Rustningens drivkrafter—En diskussion av den militærteknologiska utvecklingen". Studentlitteratur, Lund 1981
- Altman, Lawrence:** "Special Report: Semiconductor RAMs land computer mainframe jobs". *Electronics* 28-8-1972, s. 63-77
- Altman, Lawrence:** "Semiconductor random-access memories". *Electronics* 13-6-1974, s. 108-110
- Altman, Lawrence:** "Advances in designs and new processes yield surprising performance". *Electronics* 1-4-1976, s. 73-81
- Asher, Norman J. og Strom, Leland D.:** "The role of the Department of Defense in the Development of Integrated Circuits". Institute for Defense Analyses, Arlington, Virginia 1977
- Borras, Michael; Millstein, James og Zysman, John:** "U.S.-Japanese Competition in the Semiconductor Industry". Institute of International Studies, University of California—Berkeley 1982
- Braun, Ernest og MacDonald, Stuart:** "Elektronik Revolutionen", Teknisk Forlag, 1979
- Braun, Ernest og MacDonald, Stuart:** "Revolution in Miniature" 2nd edition. Cambridge University Press 1982
- Bylinski, Gene:** "How Intel Won Its Bet on Memory Chips". *Fortune* nov. 1973, s. 142-47, 184, 186
- Cannon, Don L. og Luecke, Gerald:** "Understanding Microprocessors". Texas Instruments Learning Center 1979
- Cochran, Thomas B.; Arkin, William M. og Hoenig, Milton M.:** "Nuclear Weapons Databook—Volume I, U.S. Nuclear Forces and Capabilities". Ballinger, Cambridge, Massachusetts 1984
- Coe, James E. og Oldham, William G.:** "Enter the 16,384-bit RAM". *Electronics* 19-2-1976, s. 116-121
- Dosi, Giovanni:** "Technological paradigms and technological trajectories". *Research Policy* 11, 1982, s. 147-162

- Dosi, Giovanni: "Technical Change and Industrial Transformation—The Theory and an application to the Semiconductor Industry". Macmillan Press 1984
- Dummer, G.W.A.: "Electronic Inventions and Discoveries—2nd revised and expanded edition of Electronic Inventions 1745-1976". Pergamon Press 1978
- Electronics 5-1-62. "Our growing nonmilitary federal markets", s. 56-59
- Electronics 18-12-72. "Mostek does away with cell contacts", s. 30
- Electronics 4-1-73. "US Markets Forecast 1973"
- Electronics 13-9-73. "Electronics newsletter", s. 35
- Electronics 9-1-75. "US Markets Forecast 1975"
- Electronics 6-1-77. "US Markets Forecast 1977"
- Electronics 4-1-79. "US Markets Forecast 1979"
- Electronics 13-1-81. "US Markets Forecast 1981"
- Freeman, Christopher: "The Economic Implications of Microelectronics" i Cohen, C.D. (editor): "Agenda for Britain 1: Micro policy choices for the 80's". Philip Allan, 1982
- Freeman, Christopher: "The Economics of Industrial Innovation". Frances Pinter, London 1982
- Gatland, Kenneth W.: "Rumfart i farver—satelliter og sonder". Politikens forlag, København 1973
- Golding, A.M.: "The Semiconductor Industry in Britain and the United States: A Case Study in Innovation, Growth and the Diffusion of Technology". D. Phil. Thesis, University of Sussex 1971
- Gosling, W.: "The pre-history of the transistor". *The Radio and Electronic Engineer*, Vol. 43, No. 1/2, jan./feb. 1973, s. 10
- Hansen, Finn: "En chips bliver til". *Naturkampen* nr. 22 dec. 1981, s. 74-77
- Hazewindus, Nico og Tooker, John: "The U.S. Microelectronics Industry". Pergamon Press 1982
- Hedal, Hans: "Halvlederteknologiens udvikling: mellem militære og civile kræfter—et eksempel på humanistisk teknologihistorie". IMFUFA tekst nr. 153, RUC 1988
- Hodges, David A.: "Microelectronic Memories" i "Microelectronics" en Scientific American bog. W.H. Freeman, San Francisco 1977
- Kaldor, Mary: "The Baroque Arsenal". Blackwell, London 1982
- Lindner, Rudolf; Wohak, Bertram og Zeltwanger, Holger: "Planen, Entscheiden, Herrschen: vom Rechnen zur elektronischen Datenverarbeitung". Deutsches Museum: Rowohlt, Hamburg 1986

- Mandel, Ernest: "Senkapitalismen". Finn Suenson Forlag, Oslo/Gjøvik 1976
- McNeill, William H.: "The Pursuit of Power—Technology, Armed Force and Society since A.D. 1000". Basil Blackwell, Oxford 1983
- Misa, Thomas J.: "Military Needs, Commercial Realities, and the Development of the Transistor, 1948-1958" i Smith, Merrit Roe (editor): "Military Enterprise and Technological Change". MIT Press 1985
- Moore, Gordon: "VLSI: some fundamental challenges". *IEEE Spectrum* april 1979, s. 30-37
- Nelson, Richard R. og Winter, Sidney G.: "In search of useful theory of innovation". *Research Policy* 6, 1977, s. 36-76
- Noyce, Robert: introducerende artikel i "Microelectronics" en Scientific American bog, W.H. Freeman, San Francisco 1977
- Noyce, Robert N. og Hoff, Marcian E.: "A History of Microprocessor Development at Intel". *IEEE Micro* feb. 1981, s. 8-21
- Obenchain, I.R. og Galloway, W.J.: "Transistors and the Military". *Proceedings of the IRE* vol. 40, nov. 1952, s. 1287-1288
- OECD: "Gaps in Technology—Electronic Components". Paris 1968
- Pearson, G.L. og Brattain, W.H.: "History of Semiconductor Research". *Proceedings of the IRE* dec. 1955 s. 1794-1806
- Polmar, Norman (editor): "Strategic Air Command—People, Aircraft and Missiles". The Nautical and Aviation Publishing Company of America, Annapolis, Maryland 1979
- Posa, John G.: "The Megabit Ram: Made in Japan?". *High Technology* juni 1985, s. 37-41
- Rateksa Nr. 2, 1964. "Transistor-stamtræet"
- Rosenberg, Nathan: "Inside the Black Box: Technology and Economics". Cambridge University Press 1982
- Rothwell, Roy og Zegveld, Walter: "Reindustrialisation and Technology". Longman 1985, s. 61-82
- Sahal, Devendra: "Technological guideposts and innovation avenues". *Research Policy* 14, 1985, s. 61-82.
- Shepherd, A.A.: "Semiconductor device developments in the 1960's". *The Radio and Electronic Engineer*, vol. 43. No. 1/2. jan./feb. 1973, s. 11-20
- Shockley, William: "The Path to the Conception of the Junction Transistor". *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. ED-23, No. 7, juli 1976, s. 597-620
- Smith, Michael L.: "Selling the Moon: The U.S. Manned Space Program and the Triumph of Commodity Scientism" i Fox, Richard W. og Lears, T.J. Jackson (editors): "The

- Culture of Consumption: Critical Essays in American History, 1880-1980", Pantheon Books, New York 1983
- Sze, S.M. (editor): "VLSI Technology". McGraw-Hill, New York 1983
- Teal, Gordon K.: "Single Crystals of Germanium and Silicon—Basic to the Transistor and the Integrated Circuit". *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. ED-23, No. 7, juli 1976, s. 621-639
- Thernøe, K.A.: "Raketter, satelliter og drabanter". Berlingske forlag, København 1959
- Thuren, Torsten: "Kold krig og fredelig sameksistens—stormagtspolitikken 1945-75" 2. udgave. Munksgaard 1977
- Tilton, John E.: "International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductors". The Brookings Institution, Washington DC 1971
- Torrero, Edward A.: "Trusty transistors and ICs dethrone the power-demanding vacuum tube". *Electronic Design* 24, Nov. 23, 1972
- Wilson, Robert W.; Ashton, Peter K. og Egan, Thomas P.: "Innovation, Competition, and Government Policy in the Semiconductor Industry". A Charles River Associates Research Study, Lexington Books 1980
- Wittie, L.D.: "Microprocessors and microcomputers" i "Encyclopedia of Computer Science and Engineering" 2nd edition, 1983
- Zaks, Rodnay: "Microprocessors—from chips to systems" 2nd edition, Sybex 1977

- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt.
Projektrapport af: Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.
Vejleder: Anders Madsen
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Krenø og Peter H. Lassen
Vejleder: Bernhelm Boss.
- 3/78 "OPCAVESAMLING", breddekursus i fysik.
Af: Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer og Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen.
Af: Mogens Niss
Nr. 4 er p.t. udgået.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE".
Af: Helge Kragh.
Nr. 5 er p.t. udgået.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".
Af: Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN".
Af: B.V. Gnedenko.
Nr. 7 er udgået.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Dollorum Vinarium".
Projektrapport af: Lasse Rasmussen.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET".
Projektrapport af: Jan Christensen og Jeanne Mortensen.
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER".
Af: Jørgen Larsen.
- 12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER".
Af: Mogens Brun Heefelt.
Nr. 12 er udgået.
- 13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET".
Projektrapport af: Gert Kreinø.
Vejleder: Albert Chr. Paulsen.
- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of".
Af: Else Høyrup.
Nr. 14 er p.t. udgået.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".
Specialeopgave af: Leif S. Striegler.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".
Af: Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings af an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978.
Preprint.
Af: Bernhelm Booss og Mogens Niss (eds.)
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET-FORMAL OG KONSEKVENSER".
Projektrapport af: Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".
1-port lineær response og støj i fysikken.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality".
Af: Helge Kragh.
-
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSE HOS 2.G'ERE".
a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.
Projektrapport af: Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".
En projektrapport og to artikler.
Af: Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS".
Af: Helge Kragh.
- 28/80 "DIELETRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber".
Projektrapport af: Gert Kreinø.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentialligningsmodeller".
Projektrapport af: Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".
Af: Oluf Danielsen.
Nr. 30 er udgået.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE".
Projektrapport af: Troels Lange og Jørgen Karrebæk.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
Nr. 31 er p.t. udgået.
- 32/80 "POLYMER STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER - MOSSBAUEREFFEKTUALINGER".
Projektrapport af: Crilles Bacher og Preben Jensen.
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK - NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".
Af: Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".
ENERGY SERIES NO. I.
Af: Bent Sørensen
Nr. 34 er udgået.

- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".
Af: Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN?".
Fire artikler.
Af: Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
ENERGY SERIES NO. 2.
Af: Bent Sørensen.
-
- 38/81 "TIL EN HISTORIETEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".
Projektrapport af: Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.
Nr. 38 er p.t. udgået.
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN".
Af: Jens Højgaard Jensen.
- 40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".
Projektrapport af: Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.
Vejleder: Per Nørgaard.
- 41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".
ENERGY SERIES NO. 3.
Af: Bent Sørensen.
- 42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".
Af: Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.
- 43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".
2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".
ENERGY SERIES NO. 4.
Af: Bent Sørensen.
- 44/81 "HISTORISKE UNDERSØGELSER AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".
Projektrapport af: Niels Thor Nielsen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
-
- 45/82 Er aldrig udkommet.
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE-1+11 ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".
Projektrapport af: Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 47/82 "BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".
ENERGY SERIES NO. 5.
Af: Bent Sørensen.
- 48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".
Projektrapport af: Lis Ellertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Røn og Isac Showiki.
Vejleder: Mogens Niss.
- 49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".
Projektrapport af: Preben Nørregaard.
Vejledere: Jørgen Larsen og Rasmus Ole Rasmussen.
- 50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY".
ENERGY SERIES NO. 6.
Rapport af: Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PICERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK?".
Projektrapport af: Lis Ellertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.
- 52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".
Af: Arne Jacobsen og Stig Andur Pedersen.
- 54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.
Af: Stig Andur Pedersen og Johannes Witt-Hansen.
- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi.
Af: Else Høytrup.

Vedr. tekst nr. 55/82 se også tekst nr. 62/83.
- 56/82 "EN - TO - MANGE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.
Projektrapport af: Troels Lange.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET"-
Skjulte variable i kvantemekanikken?
Projektrapport af: Tom Juul Andersen.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
Nr. 57 er udgået.
- 58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger over spredning af dyr mellem småbiotoper i agerlandet.
Projektrapport af: Per Hammershøj Jensen og Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES NO. 7.
Af: Bent Sørensen.
- 60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE"- et eksempel.
Projektrapport af: Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og Preben Nørregaard.
Vejleder: Anders Madsen.
- 61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION, SOM ET EKSEMPEL PÅ EN NATURVIDENSKAB - HISTORISK SET".
Projektrapport af: Annette Post Nielsen.
Vejledere: Jens Høytrup, Jens Højgaard Jensen og Jørgen Vogellius.
- 62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi 2. rev. udgave.
Af: Else Høytrup.
- 63/83 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES No. 8.
Af: David Crossley og Bent Sørensen.
- 64/83 "VON MATEMATIK UND KRIEG".
Af: Bernhelm Booss og Jens Høytrup.
- 65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Kirsten Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejledere: Bernhelm Booss og Klaus Grünbaum.
- 66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I ESCHERICHIA COLI".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Ole Richard Jensen og Klavs Frisdahl.
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen.
- 67/83 "ELEPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEÆR PROGRAMMERING?".
Projektrapport af: Lone Billmann og Lars Boye.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK" - til kritikken af teoriladede modeller.
Projektrapport af: Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid og Frank Mølgård Olsen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

- 69/83 "ELEVFORUDSÆNINGER I FYSIK".
- en test i l.g med kommentarer.
Af: Albert C. Paulsen.
- 70/83 "INDLÆRINGS - OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUNDERVISNINGSNIVEAU".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Åge Houmann, Helle Glærup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Klaus Grünbaum og Anders Hede Madsen.
- 71/83 "PIGER OG FYSIK".
- et problem og en udfordring for skolen?
Af: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich og Mette Vedelsby.
- 72/83 "VERDEN IFØLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S. Peirce.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 73/83 "EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG".
- økologisk contra traditionelt.
ENERGY SERIES NO. 9
Specialeopgave i fysik af: Bent Hove Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.
-
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik.
Projektrapport af: Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM".
- Case: Lineær programmering.
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank Mølgaard Olsen.
Vejledere: Mogens Brun Heefelt og Jens Bjørneboe.
- 76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et hørings svar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.
ENERGY SERIES No. 10
Af: Niels Boye Olsen og Bent Sørensen.
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller.
Projektrapport af: Svend Åge Houmann, Keld Nielsen og Susanne Stender.
Vejledere: Jørgen Larsen og Jens Bjørneboe.
- 78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE".
Projektrapport af: Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.
Vejleder: Bernhard Booss.
- 80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B".
Af: Mogens Brun Heefelt.
- 81/84 "FREKVENSAFHÆNGIG LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 82/84 "MATEMATIK - OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTOMATISEREDE SAMFUND".
Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983.
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss.
- 83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY":
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1
Af: Bent Sørensen
nr. 83 er p.t. udgået
- 84/84 "NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE".
Af: Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.
- 85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK".
Specialrapport af: Per Hedegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2
Af: Bent Sørensen.
- 87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS".
Af: Detlef Laugwitz.
- 89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING".
Af: Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
- 90/84 "ENERGI I L.G. - EN TEORI FOR TILRETTELÆGGELSE".
Af: Albert Chr. Paulsen.
-
- 91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
1. Lærervejledning
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
2. Materiale
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM - NON - LOCALITY".
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren og ånden".
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank M. Olsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 95/85 "AN ALTERNATIV DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 3
Af: Bent Sørensen
- 96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING".
Af: Bjarne Lillethorup.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONSSALDEREN".
Af: Bent Sørensen.
- 99/85 "Der er langt fra Q til R".
Projektrapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintorp.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 100/85 "TALSYSTEMETS OPBYGNING".
Af: Mogens Niss.
- 101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS IN PERTURBATIVE FORM".
Af: Ganesh Sengupta.
- 102/85 OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER; BELYST VED MODELLER OVER KØRS FODEROPFØDELSE OG - OMSÆTNING".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Kirsten Habekost, Lill Røn og Susanne Stender.
Vejleder: Klaus Grünbaum.

- 103/85 "ØDSLE KOLDKRIGERE OG VIDENSKABENS LYSE IDEER".
Projektrapport af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 104/85 "ANALOGREGNEMASKINEN OG LORENZLIGNINGER".
Af: Jens Jøger.
- 105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT OF THE GLASS TRANSITION".
Af: Tage Christensen.
- "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
Contributions to the Third International Conference on the Structure of Non - Crystalline Materials held in Grenoble July 1985.
- 106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES".
Af: Bent Sørensen.
- 107/85 "EN MYG GØR INGEN EPIDEMI".
- flodblindhed som eksempel på matematisk modellering af et epidemiologisk problem.
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Lars Boye, Carsten Holst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Jesper Larsen.
- 108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM" - state and trends -
Af: Mogens Niss.
- 109/85 "COX I STUDIETIDEN" - Cox's regressionsmodel anvendt på studenteroplysninger fra RUC.
Projektrapport af: Mikael Wennerberg Johansen, Poul Katler og Torben J. Andreassen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 110/85 "PLANNING FOR SECURITY".
Af: Bent Sørensen
- 111/85 "JORDEN RUNDT PÅ FLADE KORT".
Projektrapport af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones og Jimmy Staal.
Vejleder: Mogens Niss.
- 112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION FRA 1950 - BELYST VED EKSEMPLER".
Projektrapport af: Erik Odgaard Gade, Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn Physant.
Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen.
- 113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS II".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE AF KONFIGURATIONSTABELLER".
Projektrapport af: Lone Billmann, Ole R. Jensen og Arne-Lise von Moos.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENESSANCEN".
Af: Mogens Niss.
- 116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-NELDEL RULE".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 117/85 "KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING".
Af: Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen
- 118/85 "TILFÆLDIGHEDEN OG NØDVENDIGHEDEN IFØLGE PEIRCE OG FYSIKKEN".
Af: Peder Voetmann Christiansen
- 119/86 "DET ER GANSKE VIST - - EUKLIDS FEMTE POSTULAT KUNNE NOK SKABE RØRE I ANDEDAMMEN".
Af: Iben Maj Christiansen
Vejleder: Mogens Niss.
- 120/86 "ET ANTAL STATISTISKE STANDARDMODELLER".
Af: Jørgen Larsen
- 121/86 "SIMULATION I KONTINUERT TID".
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 122/86 "ON THE MECHANISM OF GLASS IONIC CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 123/86 "GYMNASIEFYSIKKEN OG DEN STORE VERDEN".
Fysiklærerforeningen, IMFUA, RUC.
- 124/86 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK".
Samtlige opgaver stillet i tiden 1974-jan. 1986.
- 125/86 "UVBY, 8 - systemet - en effektiv fotometrisk spektral-klassifikation af B-, A- og F-stjerner".
Projektrapport af: Birger Lundgren.
- 126/86 "OM UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI".
Projektrapport af: Lise Odgaard & Linda Szkotak Jensen
Vejledere: Karin Beyer & Stig Andur Pedersen.
- 127/86 "GALOIS' BIDRAG TIL UDVIKLINGEN AF DEN ABSTRAKTE ALGEBRA".
Projektrapport af: Pernille Sand, Heine Larsen & Lars Frandsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 128/86 "SMÅKRYB" - om ikke-standard analyse.
Projektrapport af: Niels Jørgensen & Mikael Klintorp.
Vejleder: Jeppe Dyre.
- 129/86 "PHYSICS IN SOCIETY"
Lecture Notes 1983 (1986)
Af: Bent Sørensen
- 130/86 "Studies in Wind Power"
Af: Bent Sørensen
- 131/86 "FYSIK OG SAMFUND" - Et integreret fysik/historie-projekt om naturanskuelsens historiske udvikling og dens samfundsmæssige betingethed.
Projektrapport af: Jakob Heckscher, Søren Brønd, Andy Wierød.
Vejledere: Jens Høyrup, Jørgen Vogelius, Jens Højgaard Jensen.
- 132/86 "FYSIK OG DANNEELSE"
Projektrapport af: Søren Brønd, Andy Wierød.
Vejledere: Karin Beyer, Jørgen Vogelius.
- 133/86 "CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSING THE DATA. ENERGY SERIES NO. 15."
Af: Bent Sørensen.
- 134/87 "THE D.C. AND THE A.C. ELECTRICAL TRANSPORT IN AsSeTe SYSTEM"
Authors: M.B.El-Den, N.B.Olsen, Ib Høst Pedersen, Petr Viscör
- 135/87 "INTUITIONISTISK MATEMATIKS METODER OG ERKENDELSESTEORETISKE FORUDSÆTNINGER"
MATEMATIKSPECIALE: Claus Larsen
Vejledere: Anton Jensen og Stig Andur Pedersen
- 136/87 "Mystisk og naturlig filosofi: En skitse af kristendommens første og andet møde med græsk filosofi"
Projektrapport af Frank Colding Ludvigsen
Vejledere: Historie: Ib Thiersen
Fysik: Jens Højgaard Jensen
- 137/87 "HOPMODELLER FOR ELEKTRISK LEDNING I UORDNEDE FASTE STOFFER" - Resume af licentiatafhandling
Af: Jeppe Dyre
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.

138/87 "JOSEPHSON EFFECT AND CIRCLE MAP."

Paper presented at The International Workshop on Teaching Nonlinear Phenomena at Universities and Schools, "Chaos in Education". Balaton, Hungary, 26 April-2 May 1987.

By: Peder Voetmann Christiansen

139/87 "Machbarkeit nichtbeherrschbarer Technik durch Fortschritte in der Erkennbarkeit der Natur"

Af: Bernhelm Booss-Bavnbek
Martin Bohle-Carbonell

140/87 "ON THE TOPOLOGY OF SPACES OF HOLOMORPHIC MAPS"

By: Jens Gravesen

141/87 "RADIOMETERS UDVIKLING AF BLODGASAPPARATUR - ET TEKNOLOGIHISTORISK PROJEKT"

Projektrapport af Finn C. Physant
Vejleder: Ib Thiersen

142/87 "The Calderón Projektor for Operators With Splitting Elliptic Symbols"

by: Bernhelm Booss-Bavnbek og
Krzysztof P. Wojciechowski

143/87 "Kursusmateriale til Matematik på NAT-BAS"

af: Mogens Brun Heefelt

144/87 "Context and Non-Locality - A Peircean Approach"

Paper presented at the Symposium on the Foundations of Modern Physics The Copenhagen Interpretation 60 Years after the Como Lecture. Joensuu, Finland, 6 - 8 august 1987.

By: Peder Voetmann Christiansen

145/87 "AIMS AND SCOPE OF APPLICATIONS AND MODELLING IN MATHEMATICS CURRICULA"

Manuscript of a plenary lecture delivered at ICMTA 3, Kassel, FRG 8.-11.9.1987

By: Mogens Niss

146/87 "BESTEMMELSE AF BULKRESISTIVITETEN I SILICIUM"

- en ny frekvensbaseret målemetode.

Fysikspeciale af Jan Vedde

Vejledere: Niels Boye Olsen & Petr Višćor

147/87 "Rapport om BIS på NAT-BAS"

redigeret af: Mogens Brun Heefelt

148/87 "Naturvidenskabsundervisning med Samfundsperspektiv"

af: Peter Colding-Jørgensen DLH
Albert Chr. Paulsen

149/87 "In-Situ Measurements of the density of amorphous germanium prepared in ultra high vacuum"

by: Petr Višćor

150/87 "Structure and the Existence of the first sharp diffraction peak in amorphous germanium prepared in UHV and measured in-situ"

by: Petr Višćor

151/87 "DYNAMISK PROGRAMMERING"

Matematikprojekt af:
Birgit Andresen, Keld Nielsen og Jimmy Staal

Vejleder: Mogens Niss

152/87 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PROJECTIONS AND THE TOPOLOGY OF CERTAIN SPACES OF ELLIPTIC BOUNDARY VALUE PROBLEMS"

by: Bernhelm Booss-Bavnbek,
Krzysztof P. Wojciechowski

153/88 "HALVLEDERTEKNOLOGIENS UDVIKLING MELLEM MILITÆRE OG CIVILE KRÆFTER"

Et eksempel på humanistisk teknologihistorie
Historiespeciale

Af: Hans Hedal

Vejleder: Ib Thiersen

154/88 "MASTER EQUATION APPROACH TO VISCOUS LIQUIDS AND THE GLASS TRANSITION"

By: Jeppe Dyre

155/88 "A NOTE ON THE ACTION OF THE POISSON SOLUTION OPERATOR TO THE DIRICHLET PROBLEM FOR A FORMALLY SELFADJOINT DIFFERENTIAL OPERATOR"

by: Michael Pedersen

156/88 "THE RANDOM FREE ENERGY BARRIER MODEL FOR AC CONDUCTION IN DISORDERED SOLIDS"

by: Jeppe C. Dyre

157/88 "STABILIZATION OF PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS BY FINITE DIMENSIONAL BOUNDARY FEEDBACK CONTROL: A pseudo-differential approach."

by: Michael Pedersen

158/88 "UNIFIED FORMALISM FOR EXCESS CURRENT NOISE IN RANDOM WALK MODELS"

by: Jeppe Dyre

159/88 "STUDIES IN SOLAR ENERGY"

by: Bent Sørensen

160/88 "LOOP GROUPS AND INSTANTONS IN DIMENSION TWO"

by: Jens Gravesen

161/88 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PERTURBATIONS AND STABILIZATION OF DISTRIBUTED PARAMETER SYSTEMS:

Dirichlet feedback control problems"

by: Michael Pedersen

162/88 "FISIK & FYSIK - OG MEGET MERE"

Af: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen,
Jette Reich, Mette Vedelsby

163/88 "EN MATEMATISK MODEL TIL BESTEMMELSE AF PERMEABILITETEN FOR BLOD-NETHINDE-BARRIEREN"

Af: Finn Langberg, Michael Jarden, Lars Frellesen
Vejleder: Jesper Larsen

164/88 "Vurdering af matematisk teknologi
Technology Assessment
Teknikfolgenabschätzung"

Af: Bernhelm Booss-Bavnbek, Glen Pate med
Martin Bohle-Carbonell og Jens Højgaard Jensen

165/88 "COMPLEX STRUCTURES IN THE NASH-MOSER CATEGORY"

by: Jens Gravesen

166/88 "Grundbegreber i Sandsynlighedsregningen"

Af: Jørgen Larsen

167a/88 "BASISSTATISTIK 1. Diskrete modeller"

Af: Jørgen Larsen

167b/88 "BASISSTATISTIK 2. Kontinuerte modeller"

Af: Jørgen Larsen

168/88 "OVERFLADEN AF PLANETEN MARS"

Laboratorie-simulering og MARS-analoger undersøgt ved Mossbauerspektroskopi.

Fysikspeciale af:

Birger Lundgren

Vejleder: Jens Martin Knudsen
Fys.Lab./HCØ

169/88 "CHARLES S. PEIRCE: MURSTEN OG MØRTEL TIL EN METAFYSIK."

Fem artikler fra tidsskriftet "The Monist" 1891-93.

Introduktion og oversættelse:

Peder Voetmann Christiansen

170/88 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK"

Såmtlige opgaver stillet i tiden 1974 - juni 1988

171/88 "The Dirac Equation with Light-Cone Data"

af: Johnny Tom Ottesen

172/88 "FYSIK OG VIRKELIGHED"

Kvantemekanikkens grundlagsproblem i gymnasiet.

Fysikprojekt af:

Erik Lund og Kurt Jensen

Vejledere: Albert Chr. Paulsen og Peder Voetmann Christiansen

173/89 "NUMERISKE ALGORITMER"

af: Mogens Brun Heefelt

174/89 "GRAFISK FREMSTILLING AF

FRAKTALER OG KAOS"

af: Peder Voetmann Christiansen

175/89 "AN ELEMENTARY ANALYSIS OF THE TIME DEPENDENT SPECTRUM OF THE NON-STATONARY SOLUTION TO THE OPERATOR RICCATI EQUATION"

af: Michael Pedersen

176/89 "A MAXIMUM ENTROPY ANSATZ FOR NONLINEAR RESPONSE THEORY"

af: Jeppe Dyre

177/89 "HVAD SKAL ADAM STÅ MODEL TIL"

af: Morten Andersen, Ulla Engström, Thomas Gravesen, Nanna Lund, Pia Madsen, Dina Rawat, Peter Torstensen

Vejleder: Mogens Brun Heefelt

178/89 "BIOSYNTESSEN AF PENICILLIN - en matematisk model"

af: Ulla Eghave Rasmussen, Hans Oxvang Mortensen, Michael Jarden

Vejleder i matematik: Jesper Larsen
biologi: Erling Lauridsen

179a/89 "LÆRERVEJLEDNING M.M. til et eksperimentelt forløb om kaos"

af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal

Vejledere: Peder Voetmann Christiansen
Karin Beyer

179b/89 "ELEVHÆFTE: Noter til et eksperimentelt kursus om kaos"

af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal

Vejledere: Peder Voetmann Christiansen
Karin Beyer

180/89 "KAOS I FYSISKE SYSTEMER eksemplificeret ved torsions- og dobbeltpendul".

af: Andy Wierød, Søren Brønd og Jimmy Staal
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen

181/89 "A ZERO-PARAMETER CONSTITUTIVE RELATION FOR PURE SHEAR VISCOELASTICITY"

by: Jeppe Dyre

183/89 "MATHEMATICAL PROBLEM SOLVING, MODELLING. APPLICATIONS AND LINKS TO OTHER SUBJECTS - State. trends and issues in mathematics instruction

by: WERNER BLUM, Kassel (FRG) og
MOGENS NISS, Roskilde (Denmark)

184/89 "En metode til bestemmelse af den frekvensafhængige varmekapacitet af en underafkølet væske ved glasovergangen"

af: Tage Emil Christensen

185/90 "EN NÆSTEN PERIODISK HISTORIE"

Et matematisk projekt

af: Steen Grode og Thomas Jesaen

Vejleder: Jacob Jacobsen

186/90 "RITUAL OG RATIONALITET i videnskabers udvikling" redigeret af Arne Jakobsen og Stig Andur Pedersen

187/90 "RSA - et kryptografisk system"

af: Annemette Sofie Olufsen, Lars Frellesen og Ole Møller Nielsen

Vejledere: Michael Pedersen og Finn Munk

188/90 "FERMICONDENSATION - AN ALMOST IDEAL GLASS TRANSITION"

by: Jeppe Dyre

189/90 "DATAMATER I MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ GYMNASIET OG HØJERE LÆREANSTALTER

af: Finn Langberg

- 190/90 "FIVE REQUIREMENTS FOR AN APPROXIMATE NONLINEAR RESPONSE THEORY"
by: Jeppe Dyre
- 191/90 "MOORE COHOMOLOGY, PRINCIPAL BUNDLES AND ACTIONS OF GROUPS ON C*-ALGEBRAS"
by: Iain Raeburn and Dana P. Williams
- 192/90 "Age-dependent host mortality in the dynamics of endemic infectious diseases and SIR-models of the epidemiology and natural selection of co-circulating influenza virus with partial cross-immunity"
by: Viggo Andreassen
- 193/90 "Causal and Diagnostic Reasoning"
by: Stig Andur Pedersen
- 194a/90 "DETERMINISTISK KAOS"
Projektrapport af : Frank Olsen
- 194b/90 "DETERMINISTISK KAOS"
Kørselsrapport
Projektrapport af: Frank Olsen
- 195/90 "STADIER PÅ PARADIGMETS VEJ"
Et projekt om den videnskabelige udvikling der førte til dannelse af kvantemekanikken.
Projektrapport for 1. modul på fysikuddannelsen, skrevet af:
Anja Boisen, Thomas Hougård, Anders Gorm Larsen, Nicolai Ryge.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 196/90 "ER KAOS NØDVENDIGT?"
- en projektrapport om kaos' paradigmatiske status i fysikken.
af: Johannes K. Nielsen, Jimmy Staal og Peter Bøggild
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 197/90 "Kontrafaktiske konditionaler i HOL"
af: Jesper Voetmann, Hans Oxvang Mortensen og Aleksander Høst-Madsen
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 198/90 "Metal-Isolator-Metal systemer"
Speciale
af: Frank Olsen
- 199/90 "SPREDT FÆGTNING" Artikelsamling
af: Jens Højgaard Jensen
- 200/90 "LINEÆR ALGEBRA OG ANALYSE"
Noter til den naturvidenskabelige basisuddannelse.
af: Mogens Niss
- 201/90 "Undersøgelse af atomare korrelationer i amorf stoffer ved røntgendiffraktion"
af: Karen Birkelund og Klaus Dahl Jensen
Vejledere: Petr Višcor, Ole Bakander
- 202/90 "TEGN OG KVANTER"
Foredrag og artikler, 1971-90.
af: Peder Voetmann Christiansen
- 203/90 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK" 1974-1990
afløser tekst 170/88
- 204/91 "ERKENDELSE OG KVANTEMEKANIK"
et Breddemodul Fysik Projekt
af: Thomas Jessen
Vejleder: Petr Višcor
- 205/91 "PEIRCE'S LOGIC OF VAGUENESS"
by: Claudine Engel-Tiercelin
Department of Philosophy
Université de Paris-1
(Panthéon-Sorbonne)
- 206a+b/91 "GERMANIUMBEAMANALYSE SAMT A - GE TYNDFILMS ELEKTRISKE EGENSKABER"
Eksperimentelt Fysikspeciale
af: Jeanne Linda Mortensen og Annette Post Nielsen
Vejleder: Petr Višcor
- 207/91 "SOME REMARKS ON AC CONDUCTION IN DISORDERED SOLIDS"
by: Jeppe C. Dyre
- 208/91 "LANGEVIN MODELS FOR SHEAR STRESS FLUCTUATIONS IN FLOWS OF VISCO-ELASTIC LIQUIDS"
by: Jeppe C. Dyre
- 209/91 "LORENZ GUIDE" Kompendium til den danske fysiker Ludvig Lorenz, 1829-91.
af: Helge Kragh
- 210/91 "Global Dimension, Tower of Algebras, and Jones Index of Split Seperable Subalgebras with Unitality Condition.
by: Lars Kadison
- 211/91 "I SANDHEDENS TJENESTE"
- historien bag teorien for de komplekse tal.
af: Lise Arleth, Charlotte Gjerrild, Jane Hansen, Linda Kyndlev, Anne Charlotte Nilsson, Kamma Tulinius.
Vejledere: Jesper Larsen og Bernhelm Booss-Bavnbek
- 212/91 "Cyclic Homology of Triangular Matrix Algebras"
by: Lars Kadison
- 213/91 "Disease-induced natural selection in a diploid host
by: Viggo Andreassen and Freddy B. Christiansen

- 214|91 "Hålløj i æteren" - om
elektromagnetisme. Oplæg
til undervisningsmateriale
i gymnasiet.
Af: Nils Kruse, Peter Gastrup,
Kristian Hoppe, Jeppe Guldager
Vejledere: Petr Viscor, Hans Hedal
- 215|91 "Physics and Technology of Metal-
Insulator-Metal thin film structures
used as planar electron emitters
by: A.Delong, M.Drsticka, K.Hladil,
V.Kolarik, F.Olsen, P.Pavelka and
Petr Viscor.
- 216|91 "Kvantemekanik på PC'eren"
af: Thomas Jessen
-
- 217/92 "Two papers on APPLICATIONS AND MODELLING
IN THE MATHEMATICS CURRICULUM"
by: Mogens Niss
- 218/92 "A Three-Square Theorem"
by: Lars Kadison
- 219/92 "RUPNOK - stationær strømning i elastiske rør"
af: Anja Boisen, Karen Birkelund, Mette Olufsen
Vejleder: Jesper Larsen
- 220/92 "Automatisk diagnosticering i digitale kredsløb"
af: Bjørn Christensen, Ole Møller Nielsen
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 221/92 "A BUNDLE VALUED RADON TRANSFORM, WITH
APPLICATIONS TO INVARIANT WAVE EQUATIONS"
by: Thomas P. Branson, Gestur Olafsson and
Henrik Schlichtkrull
- 222/92 On the Representations of some Infinite Dimensional
Groups and Algebras Related to Quantum Physics
by: Johnny T. Ottesen
- 223/92 THE FUNCTIONAL DETERMINANT
by: Thomas P. Branson
- 224/92 UNIVERSAL AC CONDUCTIVITY OF NON-METALLIC SOLIDS AT
LOW TEMPERATURES
by: Jeppe C. Dyre
- 225/92 "HATMODELLEN" Impedansspektroskopi i ultrarent
en-krystallinsk silicium
af: Anja Boisen, Anders Gorm Larsen, Jesper Varmer,
Johannes K. Nielsen, Kit R. Hansen, Peter Bøggild
og Thomas Hougaard
Vejleder: Petr Viscor
- 226/92 "METHODS AND MODELS FOR ESTIMATING THE GLOBAL
CIRCULATION OF SELECTED EMISSIONS FROM ENERGY
CONVERSION"
by: Bent Sørensen